IDENTIFICACION DEL ARSENICO

POR

REINALDO VANOSSI

La identificación del arsénico se puede coordinar con la de otros elementos separables por destilación, con mezcla de ácidos clorhídrico y bromhídrico. Si se consideran los trabajos anteriores, referentes a osmio, rutenio, germanio (18,18a), renio (18b), selenio (18c), mercurio (18d), estaño (18e) y antimonio (18f), se tendrá, en resumen, la siguiente situación: la sustancia se destila, en escala semi-micro o microquímica, en el simple tubo destilador, con ácidos clorhídrico, nítrico, perclórico y sulfúrico, lo cual permite separar los tres elementos mencionados en primer término; si la sustancia no contiene osmio ni rutenio, ni se deben destruir complejos por la acción sulfonítrica-perclórica, la destilación indicada no será necesaria; pero si se realiza, deberá reservarse una porción del líquido ácido destilado (después de separarlo del cloroformo, con germanio y osmio), para agregarlo al destilado siguiente, puesto que cuando hay en la sustancia sólo ínfimas cantidades de arsénico (o de estaño y antimonio), ellas pueden pasar con el primero, debido a los restos de clorhídrico que persisten al llegar a la temperatura de desprendimiento de ácidos perclórico y sulfúrico. La operación siguiente consiste en destilar dos o tres veces con la mezcla de ácidos halogenados, llegando cada vez al desprendimiento de vapores sulfúricos, con lo cual destilan los restantes elementos indicados.

La destilación del cloruro arsenioso fué empleada por Fyfe (véase la obra de De Koninck (3), ya en 1851, y Schneider en 1852, operando en corriente de ácido clorhídrico gaseoso; para el caso de arsénico pentavalente, se han propuesto como reductores, el cloruro ferroso, por Fischer (5); el yoduro, por Gooch, Danner y Browning (6,7); el ácido sulfhídrico, por Piloty y Stock (14); el ácido bromhídrico, por Gooch y Phelps (8), luego por Rohmer (15); el alcohol metílico, por Cantoni y Chautems (2) y Moser y Perjatel (13); la hidrazina (sulfato), por Jannash, Heimann y Seidel (véase la obra de Ridisüle (16).

En el tratamiento del método actual, no se emplean reductores, puesto que el arsénico, debido a la alta temperatura de acción, destila al máximo de valencia (*). Por otra parte, no son necesarias precauciones especiales, ya que intencionalmente, aquí, se prefiere separar totalmente un grupo amplio de elementos, aunque también destilen a la vez pequeñas fracciones de otros. Tal situación no impedirá continuar con el análisis del residuo; y, a al vez, asegura la obtención en el destilado, de las más ínfimas cantidades de los elementos que interesan. En este sentido, el método pretende también mayor rapidez de operación que en el caso del sistema ya clásico de Noyes y Bray ([13a]).

El problema de la identificación se resuelve previa separación de mercurio, selenio, estaño y antimonio, por el mismo procedimiento empleado para el caso de la investigación del renio ([18b]); vale decir, reduciendo primero con sulfito y yoduro (separación de selenio y otros), luego extrayendo con acetato de etilo, en presencia de yoduro (y ocasionalmente, también tiocianato), para separar mercurio, antimonio y estaño (y la pequeña cantidad de otros, que pueden destilar). La solución acuosa restante, contiene la mayor parte de arsénico y renio. El primero, se podría investigar directamente, pero es preferible extraerlo con acetato de estilo, en presencia de dietilditiocarbamato, con lo cual se tienen varias ventajas: operar con volumen reducido de la solución final y ausencia de ión bromuro y, en general, también, del sulfúrico.

Como reacción de identificación principal se emplea la de Bettendorff ([1]) que según De Koninck ([3]), habría sido empleada primero por Kessler ([13]), y posteriormente, por Hager ([9]). En el método que aquí se propone, se aplica ventajosamente, para acelerar la reducción del arsénico pentavalente, al yoduro de potasio. De esto no se ha encontrado antecedente; sólo la referencia a la reacción de precipitación del arsénico con yoduro, indicada por Seybell y Wikander ([17]) y la aplicación conocida para acelerar la precipitación de As (V), por el sulfhídrico.

Además se recomienda, a continuación, la agitación con cloroformo, para condensar el arsénico precipitado en la interfase, lo que permite mejor sensibilidad y seguridad en la observación, aparte de

(*) Y aun no siendo muy elevada la temperatura, el arsénico, en presencia de ácidos bromhídrico y sulfúrico, destila en alta proporción, con valencia cinco ([12a]).

que es un medio de aislación de ínfimas cantidades de ese elemento, a efectos de aplicar finalmente una reacción de inducción. El cloroformo tiene la ventaja, respecto del éter, propusto por Feigl [4], de que, si bien requiere más persistente agitación para llevar el arsénico a la interfase, se puede notar mejor esa zona debido a que, en el actual caso, en que se emplea yoduro, no molestará la coloración amarilla, producida por el yoduro de estaño (bastante soluble en el éter y acetato de etilo); además, es posible aislar el cloroformo decantado inferiormente, junto con el arsénico de la interfase, sin las pérdidas que dará un solvente superiormente decantado, si se aplica la técnica de extracción con pipeta.

Respecto de la reacción de inducción, se emplea el cloruro mercúrico, que permite alta sensibilidad. Esta reacción viene a ser la aplicación recíproca de la que fué propuesta por King y Brown [11], (véase, también, Kolthoff y Livingstone [12]), para el mercurio. En el caso del arsénico, gracias a las separaciones previas en la forma indicada, se consigue un suficiente grado de purificación, como para que aquella reacción de inducción adquiera suficiente seguridad, en las condiciones experimentales que se indicarán.

Accesoriamente se hará referencia a la posibilidad de coprecipitar el arsénico, con hidróxido férrico, método bien conocido; y a la aplicación del cloruro áurico, para reconocer la arsenamina (Winkler [19]).

METODO

Respecto de reactivos y útiles, ya han sido indicados en los trabajos anteriores. Se agregará:

Solución de cloruro mercúrico 0,1 M, con ácido clorhídrico M
» de cloruro áurico, 0,5 %
» de cloruro férrico, 0,1 M
» de yoduro potásico, 0,01 M
Estaño metálico.

DESTILACIÓN. — Se realiza en las condiciones ya expuestas para renio y los demás, por medio de la mezcla de ácidos clorhídrico y bromhídrico, en presencia de ácido sulfúrico.

TRATAMIENTO DEL DESTILADO. — Se hierve con sulfito y yoduro, en la forma indicada para renio [18b] y los otros; por agitación con el cloroformo, en frío, se separa el insoluble que pueda formarse. La

solución acuosa se somete a extracción con acetato de etilo, previo agregado de yoduro; luego se repetirá, agregando también tiocianato, si hay altas concentraciones de estaño. La solución queda así libre de la mayor parte del antimonio y estaño (molibdeno, bismuto, vanadio), y está en condiciones de que se pueda extraer el complejo de arsénico-dietilditiocarbamato. Convendrá, entonces, evaporar el acetato de etilo disuelto, con el objeto de notar la magnitud de precipitación que produzca el reactivo; luego, en frío, agregar gotas (0,1 ml) de la solución de dietil. (10 %) y agitar, (precipitado color rosáceo o rojo, indicaría molibdeno; mucho estaño (por deficiente extracción previa, daría amarillo; los demás son blancos o algo amarillos; aunque arsénico y bismuto reunidos, dan rojo). Si hay pronunciada precipitación, conviene agregar otras pocas gotas de reactivo; aunque mejor será repetir, después, la extracción con el acetato de etilo, agregando otras gotas del reactivo, si es que el primer extracto conduce a reacción negativa de arsénico.

Agregar 1,5-2 ml de acetato de etilo, agitar bien y separar el acetato límpido. Evaporarlo en presencia de 0,3-0,4 ml de agua y 1-2 gotas de ácido clorhídrico concentrado; el residuo acuoso se someterá a la oxidación por el bromo, en el caso de que el dietil. no hubiese producido abundante precipitado; o a destrucción sulfonítrica, en caso contrario, ya que con el bromo pueden persistir restos coloreados de los productos de la oxidación del dietil, que molestarán en la identificación del arsénico (color amarillento en el cloroformo empleado en la etapa final).

Para la oxidación por el bromo: agregar gotitas de la droga pura y 1-2 gotas más de ácido clorhídrico; hervir para eliminar el exceso de oxidante y concentrar a 0,2 ml. Si persiste un insoluble oleoso o grumoso, coloreado, será necesario, si es poco, lavar con algo de cloroformo, y si no continuar con la destrucción sulfonítrica. Para ello: agregar 0,3 ml de ácido nítrico concentrado y 0,1 ml de ácido sulfúrico concentrado, evaporar y, si previamente se oxidó con bromo, agregar otras gotas de nítrico, antes de llegar a desprendimiento de vapores sulfúricos. Luego, seguir el calentamiento hasta carbonización; acelerar la oxidación por repetidos agregados de 1 gota de nítrico sobre el residuo, aun algo caliente; en todo caso emplear también 1 gota de ácido perclórico y, si por persistente calentamiento el residuo tiende a secar, agregar una gota de sulfúrico concentrado. Al final se tendrá resto incoloro o apenas amarillo, con un

volumen de 0,05-0,07 ml. (Se evitará mayor exceso de ácido sulfúrico). Después de entibiar, agregar 0,2 ml de agua.

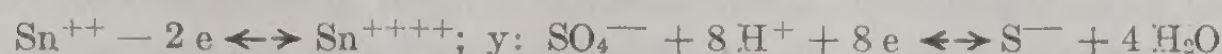
A la solución resultante, agregarle dos y medio volúmenes de ácido clorhídrico concentrado, 0,07 a 0,1 ml de la solución cloruro estañoso (2 M) y 0,07-0,10 ml de la solución de yoduro (M); hervir hasta unos 30 segundos, o poco más, si antes no aparece precipitado oscuro u opalescencia pardusca o amarillenta oscura de arsénico. Para mejorar la perceptibilidad, agregar al líquido frío o tibio, 0,1 ml de cloroformo, agitar muy enérgicamente y centrifugar, o dejar decantar unos minutos; se notará la película amarillenta oscura, aun perceptible con 0,6 γ de arsénico en la solución; lo que corresponde a 1,5-3 γ en la sustancia destilada. La sensibilidad mejora algo si se opera con tubo de centrífuga de 2-3 mm de diámetro en la parte inferior, de modo de tener una pequeña superficie interfasial. Iluminación natural es preferible. Si el cloroformo arrastra precipitado de sales, o si el líquido ácido está coloreado, todo lo cual desmejora la observación, se extraerá la mayor parte del líquido ácido; se agrega 1 ml de agua y se agita, recentrifugando.

Un exceso de ácido sulfúrico y de yoduro, a esa alta acidez y en caliente, conducirá a la producción de ácido sulfhídrico y llegarán a precipitar sulfuros amarillos o rojizos de estaño, que inutilizarán el ensayo; antes de esto, o simultáneamente, puede aparecer yodo libre (que desaparece con más cloruro estañoso (*). Esto no sucede en ausencia de sulfúrico; por eso es que, si debió aplicarse la destrucción sulfonítrica, al final deberá tenerse pequeño volumen.

Si al operar con líquido sulfúrico, en el transcurso del calentamiento, comienza a aparecer opalinidad amarilla (el olor a sulfhídrico comienza antes), se agregan gotas de agua, en seguida, para detener el proceso ya mencionado. Si, en cambio, aparece color rojizo de yodo, se agrega otra gota de la solución de cloruro estañoso y pocas gotas de agua. Suponiendo que estos tratamientos detengan el proceso anormal ya iniciado, se observará a menudo, después de agitar con el cloroformo, una película blanquecina que puede disimular alguna otra débil de arsénico; en todo caso, a pesar de que se aplique complementariamente el ensayo confirmatorio que se indicará, la sensibilidad de la reacción será algo menor que la normal.

Si la precipitación amarilla o rojiza llega a producirse, es posible que ,si no es abundante, se disuelva, después de agitar con el cloroformo (empleándose,

(*) Parecería que se producen reacciones de inducción y catálisis; el sistema



$$Sn^{++} - 2\,e \rightleftarrows Sn^{++++};\ \text{y:}\ SO_4^{--} + 8\,H^+ + 8\,e \rightleftarrows S^{--} + 4\,H_2O$$

es inducido o catalizado por el ion yodo; o por la reacción entre éste y el sulfato. A esto se agrega la inducción sobre la reacción del oxígeno del aire con el yoduro.

en este caso, mayor volumen). En tal supuesto se podrá observar en la interfase, al arsénico, aunque también con menor sensibilidad.

Repetición de la reacción con el cloruro estañoso. — Después de la reacción anterior, si el resultado es dudoso, se extrae con pipeta la mayor parte del líquido ácido que sobrenada al cloroformo bien decantado, cuidando de no afectar la interfase (*). Por precaución, se vuelve a agitar este líquido con algo de cloroformo, y se centrifuga y extrae de nuevo el líquido sobrenadante. A ambos tubos con los cloroformos, se les agrega 1 a 1,5 ml de agua y 2-3 gotas de ácido clorhídrico concentrado, se agita suavemente, para lavar las paredes del tubo y la superficie del cloroformo; se extraen los líquidos acuosos (en todo caso, centrifugar para asegurar el depósito de las partículas de arsénico que hubieran podido pasar en suspensión). Agregar a los residuos clorofórmicos que conservan un resto de solución acuosa, 1 gota de ácido clorhídrico concentrado y bromo (gotas de solución saturada, o una gotita de bromo puro), reunir los dos líquidos, evaporar el exceso y concentrar a cerca 0,2 ml; repetir la reacción del cloruro estañoso como en el primer caso. En esta operación no habrá anormalidades, ya que se opera en ausencia de ión sulfato; por otra parte, el límite de precipitabilidad será casi igual al de la primera reacción, siempre que se hayan evitad pérdidas mecánicas del arsénico precipitado en la primera etapa. Desde luego, que si en esa etapa la precipitacin de arsénico fué incompleta, en la segunda operación sólo se tiene la ventaja de la mayor nitidez.

Aplicación de la reacción de inducción. — Después de la reacción del cloruro estañoso, se purifica el cloroformo como se ha indicado, y se ataca con el bromo, eliminando su exceso por ebullición; al residuo, cerca 0,3 ml, se le agrega un doble volumen de ácido clorhídrico concentrado, 1 gota de la solución de yoduro potásico (0,01 M) y a 25-30°C, 1 gota de la solución de cloruro estañoso; mezclar y agregar 1 gota de la solución de cloruro mercúrico (0,1 M), agitando inmediatamente. Aparecerá opalescencia gris oscura en seguida, o dentro de pocos segundos, aun perceptible con menos de 0,1 γ de arsénico en la solución; lo que en general corresponde a algunas décimas de γ en la sustancia destilada (mejor se observa

(*) Es inútil emplear la pipeta con orificio pequeño y provista del tubo de goma con pinza. Así, con ayuda del espejo, resulta fácil extraer correctamente.

con luz natural y conveniente ángulo de incidencia). Un ensayo paralelo, testigo, recién dará opalescencia al minuto, o más, operando también en iguales condiciones de temperatura.

Debido a la alta sensibilidad de la reacción, deberá efectuarse el testigo a través de todas las etapas, incluso la destilación de los ácidos empleados en el análisis. Este testigo conduce a opalescencia con el cloruro mercúrico en tiempo menor del que exige un testigo realizado a partir de agua destilada y los demás reactivos empleados en la etapa final, lo cual se explica por la pequeña cantidad de arsénico de todos los reactivos (ácidos, sulfito, dietil, etc.).

NOTAS. — 1) *Concentración del arsénico por medio de la precipitación del hidróxido férrcio*: Agregar a la solución que proviene de eliminar los demás elementos (reducción con yoduro-sulfito y extracciones con yoduro-tiocianato-acetato de etilo), 0,05 a 0,1 ml de la solución de cloruro férrico (0,1 M) y gotas de amoníaco concentrado, hasta reacción alcalina; hervir unos segundos y centrifugar; volcar el líquido, lavar el sedimento con 1,5-2 ml de agua, centrifugar y eliminar el líquido. El sedimento, cerca 0,2 ml, se trata por unas dos y media veces su volumen de ácido clorhídrico concentrado, 0,1 ml de la solución de yoduro y 0,1 ml de la solución de cloruro estañoso (2 M) y hervir unos segundos. Se aplicará, luego, si es necesario, el cloroformo.

La sensibilidad es casi igual a la ya indicada; pues el yoduro permite mejorar la situación derivada de la menor sensibilidad que da el cloruro estañoso, en presencia de ion férrico.

Este método de concentración del arsénico, comparado con el que emplea la extracción de los complejos con dietilditiocarbamato, exige ebullición ly centrifugación, para separar el precipitado. Aparte de esto, el método de precipitación, sará más rápido si se compara con el caso del dietil en el supuesto de hacer destrucción sulfonítrica. Además, por el dietil se puede separar arsénico de renio, dentro de ciertos límites, lo que resulta útil para el caso de investigación sucesiva de ambos elementos.

2) *La identificación del arsénico directamente, en el destilado, después de eliminar selenio (etc.), mercurio, y, además, el exceso de antimonio y estaño, (etc.)*: La solución se oxida con exceso de bromo (*) y se concentra a 1-1,5 ml; se le agrega doble volumen de ácido clorhídrico concentrado, 0,2 ml de la solución de cloruro estañoso (o lo necesario para reducir el yodo, y además un exceso) y se hierve. Luego puede aplicarse el cloroformo y también finalmente, la confirmación indicada.

Tiene los siguientes inconvenientes: volumen elevado de operación; menor sensibilidad, debido a la presencia de iones bromuro y sulfato; mayor posibilidad de precipitación de sulfuros, si la solución tiene mucho ácido sulfúrico de

(*) Así se oxida el tiocianato, que daría precipitado de sulfuros al hervir; además, al concentrar, no habrá pérdida de arsénico.

la destilación y, además, yoduro. En el caso de que no se elimine previamente al exceso de estaño y antimonio, la sensibilidad puede quedar también afectada. Generalmente el límite de perceptibiladad es 2 a 4 veces peor que el método de extracción con dietil-acetato.

Aplicación de la reacción del hidrógeno arseniado: Se debe concentrar el arsénico ya sea por el cloroformo o por precipitación con hidróxido férrico (*), pero en este último caso se deberá cuidar que las extracciones previas con acetato de etilo hayan eliminado la mayor parte del antimonio. Se disuelve con gotas de agua, ácido clorhídrico y poco bromo, del cual se elimina el exceso por ebullición y, luego, se lleva a un volumen de 1-1,5 ml, de modo que la acidez sea cerca 6 M en ácido clorhídrico; agregar un trocito de estaño metálico y 0,1 ml de la solución de cloruro estañoso (**); tapar el tubo con un tapón atravesado por un tubo de vidrio de unos 50 mm de largo por 3 mm de diámetro interior, dentro del cual se ha dispuesto una tirilla de papel de filtro recién impregnada en una solución de cloruro áurico (0,5 %). Hervir suavemente (cuidar que no salpique líquido al papel), hasta unos 3-4 min. El arsénico da una mancha azulada que comienza en la parte inferior de la tirilla; color que aparece aún con cerca 0,1 γ de arsénico. El antimonio da color rojizo parduzco, y aun existiendo en varias centenas de γ no molesta apreciablemente.

El selenio debe ser completamente eliminado, porque se produce ácido selenhídrico que, con el oro, da color oscuro (no azul); el mercurio se amalgama con el estaño y la actividad de éste desaparece total o parcialmente.

DATOS COMPLEMENTARIOS

La reacción del cloruro estañoso. — La acidez clorhídrica ca. 8 M empleada en el método, es conveniente para favorecer la reducción con el cloruro estañoso. La presencia de concentraciones moderadas de yoduro no afectan mayormente la sensibilidad, para el caso de arsenioso; pero mejora considerableemnte la reacción para el caso de compuesto arsénico, debido posiblemente a una inducción. En base a este hecho, se puede aplicar con toda facilidad y eficiencia la reacción al arsénico pentavalente.

El yoduro, además, mejora un poco la desventaja que se produce si hay aniones sulfúrico y/o bromhídrico; y permite la presencia

(*) La reducción final del arsénico por el estaño, es incompleta en presencia de yoduro, por tal motivo no puede emplearse un líquido que provenga de aplicar la reacción del cloruro estañoso, en presencia de yoduro.

(**) El cloruro estañoso favorece la formación de arsenamina con el arsénico (V) y retrograda netamente la formación de estibina, debido a la disminución del potencial del sistema.

El estaño da menor sensibilidad que el zinc (menor potencial reductor) pero tiene la ventaja de tolerar la presencia de cierta proporción de antimonio.

de bastante mercurio sin que llegue a interferir, siempre que esté totalmente complejado y suficientemente estabilizado, por exceso de yoduro. Por ejemplo, 2-3 mg de mercurio (como cloruro) no dan reacción perceptible, aplicando la sal estañosa, en presencia de yoduro y a la acidez indicada.

El único inconveniente del yoduro está en los casos de presencia de sulfúrico; en que un exceso de éste y de yoduro y acidez, conducen a la producción de ácido sulfhídrico — lo cual, dentro de ciertos límites, no molesta — y, luego, a la precipitación de complejos amarillos de estaño con yodo y azufre, que si bien son parcialmente solubles en el cloroformo, pueden producir dlficultades debido a la persistencia de una película blanquecina en la interfase.

Como límites de perceptibilidad (*) se pueden indicar los siguientes casos típicos. En 1 ml de ácido clorhídrico 8 M, conteniendo 0,15-0,20 ml de solución de yoduro (M), con 0,05 ml de la solución de estañoso (2 M) y 15 segundos de ebullición, se obtiene líquido muy ligeramente amarillo, límpido; se entibia a ca. 40° y se agita con 0,15 ml de cloroformo; después de centrifugar aparece la película interfacial, aun visible con 0,6 γ de arsénico (III ó V); el testigo da un líquido ligeramente amarillo (yoduros de estaño) que por agitación da interfase libre de película. Evaporando a suave calor parte del cloroformo, hasta ca. 0,05 ml y recentrifugando, se ve aun mejor. Hasta en un volumen de 6 ml de ácido clorhídrico 8 M, se obtiene un límite de perceptibilidad algo mejor de 1 γ de arsénico.

Una solución en las condiciones anteriores, pero con 0,03 ml de ácido sulfúrico concentrado y 0,2 ml de la mezcla de ácidos clorhídrico y bromhídrico, da una reacción perceptible en el cloroformo, con 0,8-0,9 γ de arsénico. Otro ensayo con el doble de ácido sulfúrico, al hervir con el cloruro estañoso da color rojo (yodo), que desaparece con otra gota de reductor (neto olor a ácido sulfhídrico) y en otros segundos de ebullición aparece opalescencia blanquecina amarillenta (**) (igual en un testigo, sin arsénico); después de entibiar y agitar con

(*) BETTENDORFF (1), operando en ácido clorhídrico (d: 1,185) reconoce en 1 ml, 0,002 mg de arsénico. SCHEUCHER (16a) emplea una microtécnica, en capilar y con centrifugación, llegando a percibir en 1-2 mm³, 0,02 γ de arsénico.

(**) Con mayor cantidad de sulfúrico y yoduro, ya daría precipitado amarillo a rojizo; pero, en cambio, con algo más del primero y menos yoduro no daría anormalidad. Así, no aparecen inconvenientes operando con 1 ml de ácido clorhídrico 8 M, conteniendo además 0,2 ml de la mezcla clorhídrico bromhídrica, 0,1 ml de ácido sulfúrico concentrado y sólo 0,1 ml de solución de yoduro (M).

cloroformo, la opalescencia de la fase acuosa pasa a la interfase; pero efectuando la extracción del líquido acuoso y lavando con agua clorhídrica, llega a observarse 1-1,2 γ de arsénico. Empleando un volumen de solución doble, o triple, la perceptibilidad empeora sólo ligeramente, a condición de cuidar la enérgica y persistente agitación con el cloroformo.

Influencia de otros elementos. — Un exceso de estaño (IV), disminuye la sensibilidad de la reacción con el cloruro estañoso, aun en presencia de yoduro. Así, 2 γ de arsénico casi no se perciben, ni en el cloroformo, en presencia de 10 mg de estaño (IV). El antimonio apenas afecta; pero deberá lavarse el cloroformo, ya que el color amarillo de la solución, debido al yoduro, perjudica la visibilidad de la interfase.

El molibdeno (700 γ) con el cloruro estañoso da azul o verdoso, que pasa a royo cereza al hervir; con yoduro hay poco cambio. Después de agregar el cloroformo, y agitar y centrifugar, éste aparece incoloro, pero la interfase no se puede observar nítidamente, debido al color de la fase ácida; extrayéndola y lavando el cloroformo, se nota bien la presencia de 0,7 γ de arsénico, con un testigo negativo (volumen total 2 ml). El mercurio, aparte de su aplicación en la reacción de inducción, no da reacción con el cloruro estañoso, si hay un exceso de yoduro, según ya se indicó.

El renio (1 mg) no afecta apreciablemente.

Respecto de selenio, como se lo precipita previamente, sólo puede interesar en cuanto a la posible coprecipitación de arsénico. Los ensayos hasta con 10 mg de selenia, indican qeu la adsorción es prácticamente despreciable.

Talio, bismuto y vanadio, en la pequea fracción que puede destilar, aun analizando sus respectivos compuestos puros, no afectan, aunque pueden exigir la etapa de purificación, después de la primera reducción del arsénico.

La extracción por solventes, previa a la investigación del arsénico. — Los complejos de antimonio y estaño, con el yoduro, pasan en proporción (*) de 60-70 % al acetato de etilo, en medio clorhídrico (pH menor a 1); al éter pasan menos (el de antimonio, de 30 a 35 %; el de estaño, de 15 a 20 %). El arsénico apenas pasa a estos solventes (ca.2 % al acetato, ca. 1 % al éter). Los complejos con tiocianato, análogamente: el de arsénico ca. 2 % al acetato y ca. 1 % al éter; el de antimonio, 30-40 % al acetato y 10-20 % al éter; el de estaño, pasa 65-70 % al acetato y 45-50 % al éter.

Todos estos datos corresponden a determinaciones aproximadas con decenas de γ de los respectivos elementos y, así, sólo tienen

(*) Esos valores se refieren a lo obtenido en una extracción. Mayores informaciones respecto a la significación de estos valores de distribución, ya han sido publicados (18b).

valor de orientación previa. Por lo demás los ensayos cualitativos confirman el aprovechamiento de las propiedades anteriores, como medio para perfeccionar la investigación de arsénico en presencia de exceso de otros elementos que afectan más o menos intensamente.

Antes de la adopción del método fundado en las propiedades anteriores se pretendió aplicar otras propiedades: 1) el arsénico (III), pasa al cloroformo a fuerte acidez clorhídrica, mientras que el antimonio pasa en proporción varias veces menor; y el mercurio y estaño, apenas. Para aprovechar esta situación en un destilado con arsénico (V), se reduce en medio fuertemente ácido (incluso bromhídrico), con fenol. El método es menos separativo y menos cómodo que el adoptado. 2) el éter etílico, según propiedad bien conocida, disuelve en acidez clorhídrica 6 M, alta proporción de As (III), mientras que Hg, Sn (IV) y Sb (III) pasan mucho menos. La separación es aquí también menos neta; e influye el bromhídrico que contiene el destilado.

En cuanto al dietilditiocarbamato, es útil en el sentido de aislar al arsénico en un líquido que puede tener alta concentración de sulfúrico y bromhídrico; pero su aplicación exige separar antes, a la mayor parte de antimonio y estaño (aparte de selenio y mercurio), ya que arsénico, antimonio y estaño pasan, complejados con el dietil. en alta proporción (más de 95 %), al acetato de etilo y cloroformo. Otro ventaja reside en que se aplicará la reacción final en todo el pequeño volumen que se quiera, sin recurrir a la evaporación de la solución acuosa original, lo que conduciría, después de cierto límite, a pérdida de arsénico; a no ser que se oxidase previamente con bromo (también puede emplearse nitrito sódico, para oxidar arsénico, yoduro y tiocianato; pero esto es más largo e introduce mayor cantidad de sales sódicas).

En resumen, algunas experiencias confirmarán el grado de aprovechamiento del método propuesto: 3 ml de una solución, con los ácidos que pasan en una destilación, se someten a dos extracciones con acetato de etilo, en presencia de gotas de la solución de yoduro. El líquido acuoso se evapora hasta 1,5 ml, se le agrega 3 ml de ácido clorhídrico concentrado, el cloruro estañoso (ebullición) y, finalmente, el cloroformo, de acuerdo con la técnica adoptada; se observa la película en presencia de 1,5 γ de arsénico; el testigo da, en el cloroformo, un debilísimo color amarillento. Purificando, por extracción del líquido superior, etc., se confirma la neta visibilidad en el ensayo con el arsénico y el muy débil color del testigo, lo cual debe atribuirse a una ínfima cantidad de arsénico de los reactivos.

En otro ensayo, con volumen y acidez como anteriormente, se extrajo con acetato de etilo y yoduro y, en una segunda, con acetato y tiocianato. El acuoso se concentró a 2 ml y se agregó tiocianato y cloruro estañoso (en el supuesto de una investigación de renio (18b)), obteniéndose líquido incoloro; se sometió a dos extracciones con acetato de etilo y el acuoso se concentró a 2 ml, oxidando con bromo y, luego, se agregó el ácido y exceso de cloruro estañoso, etc., y se aplicó el lavado del cloroformo centrifugado. Con 1,8 γ de arsénico se obtuvo película netamente visible, mientras el testigo dió apenas perceptible (*). Realizando previamente una extracción del As-dietil el resultado es algo mejor. Estos resultados indican la posibilidad de investigar arsénico a continuación de una identificación de renio. En efecto, aplicando el método anterior, en presencia de 300 γ de Re, se percibió algo menos de 2 γ de arsénico.

En el caso de mezclas: se operó con una solución conteniendo 3 mg de cada uno de los elementos, mercurio, selenio, antimonio y estaño (además 2 γ de arsénico y paralelamente un testigo sin éste). En un volumen de cerca 3 ml, con gotas de ácidos sulfúrico, clorhídrico y bromhídrico (**), se precipitó, a ebullición, con sulfito, agregando yoduro (***) al final. En frío se realizó una extracción con un volumen igual de acetato de etilo, repitiéndola, luego, previo agregado de más solución de yoduro (0,25 ml de la solución molar). La solución acuosa separada tiene débil color amarillo y agregándole 1 gota de la solución de yoduro apenas intensifica el amarillo, en el fondo del tubo, lo que indica que persiste poco antimonio. Así mismo se agregan gotas de la solución de dietilditiocarbamato, lo que da fuerte opalescencia blanca (****); se agita con un volumen de acetato de etilo y se separa la fase acuosa (ambas fases, límpidas; el líquido acuoso, incoloro; el acetato algo amarillo), la cual se trata con otras gotas de la solución de dietil, que da al principio opalescencia (productos de descomposición del reactivo en medio ácido) para desaparecer, en unos segundos. Después de agitar con otro volumen de acetato (todo incoloro y límpido) se lo separa.

A ambos acetatos, de los dos ensayos, se les agrega 0,3 ml de agua y después de evaporar el solvente orgánico, se observa, en los de la primera extracción, algunos grumitos amarillo-naranjado y en los de la segunda, pocos grumos blancos; se agregan gotas de ácido clorhídrico concentrado y gotitas de bromo puro (hasta que después de agitar aparece algo de bromo depositado); se hierve cerca de 1 min y luego se elimina el exceso, ayudando con soplado; se reúnen, en

(*) Igual resultado si se opera en presencia de citrato amónico, como es el caso cuando se separa el mercurio-yoduro, en acidez cítrica (18d).

(**) La mezcla tiene opalescencia roja de selenio, debido a la acción reductora del Sb (III) y del HBr.

(***) Al establecerse contacto entre el yoduro y el líquido se observa color amarillo (indicio de cantidad relativamente alta de antimonio; que por agitación para a ser débil coloración. Todo esto se observa bien debido a la coagulación del selenio que deja sólo tenue opalescencia en suspensión.

(****) En la solución saturada de acetato de etilo, los complejos con el dietil no dan precipitado coagulable.

cada caso, los líquidos de las dos extacciones, a los que se les agrega un volumen doble de ácido clorhídrico concentrado y gotas de cloruro estañoso (0,1 ml), lo que da un líquido incoloro; llevando a ebullición y agregando, cada varios segundos, 1 gota de la solución de yoduro, se ve, después de 0,5 min (y con agregado de cerca 0,15 ml del yoduro, y también, unas gotas más de ácido, para mantener fuerte acidez) en el tubo que contiene arsénico, una muy débil coloración amarillenta (sólo perceptible por comparación con el testigo, sin arsénico); después de dejar 1-2 min, y entibiar, se agita enérgicamente con 0,15 ml de cloroformo, sometiendo a centrifugación. Se observa netamente la película de arsénico, mientras el testigo da un color, en el cloroformo, apenas perceptible (rastros de arsénico en los reactivos y drogas: décimas de γ).

En otro par de experiencias realizadas con soluciones de igual composición a las anteriores, después de sometidas a la reducción con sulfito y dos extracciones con acetato de etilo y yoduro, dieron líquidos acuosos, que concentrados a 2 ml y tratados directamente por doble volumen de ácido clorhídrico, el cloruro estañoso, a ebullición y luego por el cloroformo, permitió ver, con 2 γ de arsénico (originariamente presentes), un color casi igual (apenas superior) al casi imperceptible del testigo. Otros ensayos, como antes, pero con 4 γ de arsénico, dieron neta reacción visible. Pero en alguna oportunidad, en que se concentró la solución, después de las extracciones con yoduro, a 1,5 ml, se obtuvo después de hervir con el cloruro estañoso, aparición de color de yodo, que decoloró e n más reductor; y esto sucedió repetidas veces. Al final no se observó reacción en el caso de presencia de 2 γ de arsénico. El fracaso actual debe atribuirse al hecho de que la mayor evaporación a que se sometió la solución elevó anormalmente la concentración de ión sulfato (y la de bromuro, que también afecta la sensibilidad), lo que es causa del proceso de inducción que lleva a la liberación de yodo y la rápida oxidación del ión estañoso. Debe recordarse que el ión sulfato no sólo proviene del ácido sulfúrico destilado, sino también del sulfito empleado en la reducción del selenio; sulfito que ya puede contener una fracción de sulfato.

En cuanto a coextracción de arsénico, en las extracciones de los complejos yodurados (o con tiocianato simultáneamente) de antimonio, estaño, mercurio (y lo poco que puede haber en un destilado, de bismuto, molibdeno y vanadio), no es de mayor significación.

En virtud de todos los datos expuestos, se justifica la preferencia de llegar a la identificación del arsénico, en los casos de muestras de composición heterogénea o donde predominen algunos elementos destilables, previa purificación tal como lo establece el método propuesto.

La reacción de inducción, por el cloruro mercúrico. — King y Brown [11] descubrieron la reacción en la cual, por acción in-

ductora, se puede obtener reacción perceptible de mercurio con cloruro estañoso, en medio fuerte clorhídrico, si existe una cierta concentración de arsénico (III). El límite de reconocimiento llega, en solución pura, hasta la concentración 0,00000002 M; mientras que a esa acidez, en ausencia de arsénico, la reducción del mercurio no se produce visiblemente, ni aun en concentraciones considerablemente mayores.

Como pasa con las reacciones de este tipo, la ventaja de la extraordinaria sensibilidad que pueden tener, queda a menudo anulada por la falta de especificidad y por la influencia, en sentido negativo o positivo, de otros iones. Estos son los motivos por los cuales esta reacción no se ha estudiado en detalle para aplicarla a la identificación del mercurio en el caso de análisis de mezclas complejas.

Sin embargo, ensayándola para la aplicación inversa, es decir, para la investigación del arsénico, por medio del ion mercúrico actuando como aparente catalizador, se la ha comprobado con suficiente grado de seguridad como para que sea aprovechable en el metodo analítico estudiado en este trabajo. De acuerdo con los ensayos realizados se obtendría, con una técnica más sencilla, la misma certidumbre que la dada por la reacción del hidrógeno arseniado actuando sobre el cloruro mercúrico o el cloruro áurico. La sensibilidad puede llevarse a un alto grado; pero se ha preferido limitarla a la décima de γ de arsénico, para facilitar la operación y disminuir las dudas en la interpretación de los resultados.

La reacción se produce mejor a alta acidez, ya que en caso contrario, hay mayor facilidad en la formación del precipitado de calomel o mercurio elemental, espontáneamente, sin arsenioso.

La concentración de cloruro estañoso tiene influencia poco notable; pero la del cloruro mercúrico, sí. A mayor concentración de éste, tanto más rápida la precipitación y tanto más abundante; pero se nota siempre una cierta diferencia de tiempo entre los dos ensayos paralelos, lo que permite llevar la sensibilidad del procedimiento, respecto de arsénico, a la centésima de γ. Esto, sin embargo, es de aplicación limitada ya que la diferencia de tiempo puede ser sólo de pocos segundos. Se ha elegido solución 0,1 M de cloruro mercúrico; pero puede emplearse 0,01 M, de la cual se agregarán gotas sucesivas cada 5 segundos.

La temperatura influye: a 10-15°C la influencia del arsénico es menos fuerte (menor diferencia entre los dos ensayos paralelos); a 25-30° (o poco más) la situación es óptima; a mayor temperatura (60-80°) se favorece la reducción del ion mercúrico, notándose menos la influencia del arsénico.

Como ejemplo típico: 0,1 γ de arsénico (III) en 1 ml de solución de ácido clorhídrico (6 M), tratada por el cloruro estañoso y gotas de solución 0,01 M de cloruro mercúrico (25°), da, en pocos segundos, neta opalescencia; el testigo, a los 40 segundos aun permanece límpido (observar por transparencia con papel blanco interpuesto y, preferiblemente a luz natural). Con acidez 8 M hay aun neta diferencia de tiempo entre los dos ensayos, pero el arsénico actúa más lentamente; con solución de mercurio 0,1 M (1 gota), el ensayo da fuerte opalescencia, inmediatamente, y el testigo después de 10 ó más segundos, según la temperatura.

Si, después de agregar el cloruro estañoso se hierve y luego, en frío, se agrega la sal mercúrica, se observa una neta disminución de la acción catalítica; no hirviendo, pero dejando pasar largo tiempo después del agregado del cloruro estañoso, también se nota, aunque menos acentuada, la disminución del efecto. Esto indicaría que todo aquello que disminuye el grado de dispersión de las micelas de arsénico, disminuye el efecto catalítico sobre la reducción del mercurio (II); y permite pensar que el proceso, en sí, es complejo y dependiente, no sólo del par inductor, sino también de la «actividad coloidal», en la que intervendrá un proceso de adsorción en las micelas (semejante al caso del selenio respecto al ion áurico ([18 c]). Es interesante mencionar que si se trabaja con tubos que tengan una débil película adherida, de precipitado de una operación anterior (de mercurio-calomel), se nota acción catalítica, como la que produce el arsénico.

Los iones que complejan al mercurio (bromuro, yoduro), en suficiente exceso, anulan el proceso.

El arsénico pentavalente, de difícil reducción por el cloruro estañoso, tiene acción lenta, y así, hay diferencias menos grandes con el testigo. Se mejora algo la situación si se opera a mayor acidez y se calienta algo con el cloruro estañoso; enfriando, después, para agregar el cloruro mercúrico.

El problema de aprovechar este proceso catalítico con el arsénico (V), que resulta de redisolver con oxidante al arsénico elemen-

tal, se resuelve mejor con el empleo de una pequeña cantidad de yoduro que cataliza la reducción por el cloruro estañoso. Muy poco yoduro tiene acción casi despreciable; exceso con respecto al mercurio, anulará, por supuesto, a la reacción.

De acuerdo con lo expuesto en su lugar, resulta conveniente el empleo de una gota (0,04-0,05 ml) de una solución de yoduro potásico 0,01 M y otra de cloruro mercúrico 0,1 M, para 0,5-1 ml de solución 6-8 M de ácido clorhídrico, a 25-30°C. La diferencia de tiempo entre el ensayo con arsénico y sin él, es bien diferente, aun con pequeñas variaciones de acidez, yoduro y mercurio; sin embargo conviene siempre efectuar la comparación con el testigo en iguales condiciones.

Otros elementos que pueden estar en la solución que se analiza tiene poca influencia, aparte de que el lavado del cloroformo, los elimina casi completamente. 2-3 mg de estaño, no afecta la observación con 0,2 γ de arsénico; lo mismo para el caso del antimonio (ventaja de esta reacción respecto de la del hidrógeno arseniado). Con 1200 γ de molibdeno no se produce sensible anormalidad.

En resumen, considerando la alta sensibilidad de esta reacción y, por otra parte, la dificultad de disponer de reactivos con suficientemente baja cantidad de arsénico (en forma de impureza), resulta difícil que al aplicarla en la parte final de un análisis, después de múltiples etapas, dé reacción negativa, por comparación con un testigo directo. En consecuencia, corresponde efectuar este testigo teniendo en cuenta todas las etapas y, así, éste, en general, dará también reacción positiva si se lo compara con un testigo directo, el cual siendo más simple estará impurificado con menos arsénico. Algo más se ganará si se tiene en cuenta la relativa proporcionalidad entre la cantidad de arsénico y la velocidad de aparición de opalescencia; lo que significa, naturalmente, aproximarnos a un aspecto cuantitativo.

Dentro de un análisis cualitativo, será, en general, suficiente el límite de perceptibilidad que da la reacción del cloruro estañoso, en combinación con el cloroformo, lo que permite muy a menudo, llegar a la apreciación de algo menos de 1 γ; y quedará la reacción catalítica como excelente método para casos particulares, en que las etapas operatorias previas sean de mayor sencillez y los reactivos de alta pureza.

CONCLUSION

El método aquí estudiado, con sus posibles variantes ha sido aplicado en presencia de los elementos y sus compuestos, ya mencionados en los trabajos anteriores, comprobándose los límites de perceptibilidad indicados en el texto actual.

Bibliografía

1. Bettendorff. — *Zeit. Chem.*, [2], **5**, 492 (1869), y *Zeit. Analyt. Chem.*, **9**, 105 (1870).
2. Cantoni y Chautems. *Ann. Chim. Anal. Appl.*, **10**, 213 (1905).
3. De Koninck, L. L. — « Chimie .Analytique Qualitative et Quantitative, III (1913).
   (Fife. — *Phil. Mag.*, [4], **2**, 487 (1851)).
   (Schneider. — *Pogg.*, **85**, 433 (1852)).
4. Feigl, F. — « Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen (1935).
5. Fischer. — *Berichte*, **13**, 1778 (1880).
6. Gooch y Danner. — *Chem. News*, **64**, 203 (1891).
7. Gooch y Browning. — *Zeits. fur Analyt. Chem.*, **30**, 60 (1891).
6. Gooch, F., y Phelps, I. — *Zeits. Anorg. Chem.*, **7**, 122 (1894).
9. Hager, H. — *Phar. Central.*, **11**, 201 (1870) (ver De Koninck, *l. c.*).
10. Kessler, F. — *Pogg.* **113**, 134 (1861) (ver De Koninck, *l. c.*).
11. King, W., y Brown, F. — *Analyt. Ed.*, **5**, 168 (1933).
12. Kolthoff, I. M., y Livingston, R. S. — *Analyt. Ed.*, **7**, 213 (1935).
12*a*. Magnuson, H. I., y Watson, E. B. — *Analyt. Ed.*, **16**, 339 (1944).
13. Moser y Perjatel. — *Monats.*, **33**, 797 (1912).
13*a*. Noyes, A. A., y Bray, W. C. — « A System of Qualitative Analysis for the Rare Elements », (1927).
14. Piloty y Stock. — *Berichte*, **30**, 1649 (1897).
15. Rohmer, J. — *Berichte*, **34**, 33 y 1565 (1901).
16. Rudisule, A. — « Nachweis, Bestimmungs und Trennung der Chemischen Elemente, I (1913).
   (Jannasch. — *Verh. Naturh. Med. Ver. zu Heidelberg.*, **9**, 84 (1907).)
   (Jannasch y Seidel. — *Berichte*, **43**, 1218 (1910), y *J. Prak. Chem.*, [**2**], 91, 137 (1915)).
16*a*. Schencher. — *Z. Analyt. Chem.*, **61**, 406 (1922).
17. Seybel, E., y Wikander, H. — *Chem. Zeit.*, **26**, **50** (1902) (ver De Koninck, *l. c.*).
18. Vanossi, R. — *Anales Asoc. Quím. Argentina*, **32**, 164 (1944).
18*a*. Vanossi, R. — *Anales Asoc. Quím. Argentina*, **35**, 120 (1947).
18*b*. Vanossi, R. — *Anales Soc. Científica Argentina*, **145**, 207 (1948).
18*c*. Vanossi, R. — *Anales Asoc. Química Argentina*, **36**, 75 (1948).
18*d*. Vanossi, R. — *Anales Asoc. Química Argentina*, **36**, 93 (1948).
18*e*. Vanossi, R. — *Anales Soc. Científica Argentina*, **146**, 3 (1948).
18*f*. Vanossi, R. — *Anales Asoc. Científica Argentina*, **146**, 305 (1948).
19. Winkler, L. W. — *Zeits. Angew. Chem.*, **30**, 114 (1917).

SECCION CONFERENCIAS

ESTABILIDAD DE LOS SUELOS Y TENDENCIAS ACTUALES EN FRANCIA PARA LOS REVESTIMIENTOS DE CAMINOS

PISTAS PARA AERODROMOS

POR EL ING.

J. DE LARRARD

Conferencia pronunciada en la Sociedad Cienrífica Argentina el 12 *de marzo de* 1948.

En 1940, Francia, tanto por sus realizaciones — en particular su red caminera, la más densa, y una de las mejor implantadas del mundo — como por sus estudios y su técnica se colocaba a la cabeza de la técnica mundial caminera.

Durante cinco años, de 1940 a 1945, Francia conoció sucesivamente la guerra, la ocupación enemiga y la liberación. Cada una de esas fases del conflicto mundial representó pesadas y sucesivas hipotecas sobre las vías de comunicación: caminos, puertos, vías férreas, bases aéreas. Cuando se produjo el armisticio su profunda destrucción hizo pensar a los pesimistas que el trabajo de reponerlos rápidamente en servicio era una obra casi sobrehumana para un país agotado por la guerra y la ocupación. Sin embargo, baste decir que, al terminar 1947, la circulación ferroviaria y caminera era normal en Francia y que sus puertos permiten ahora — tanto con el extranjero como con la Unión Francesa — un tráfico aumentado por las necesidades económicas actuales.

Uno de los propósitos de esta conferencia es atestiguar que, a pesar de esta tarea gigantesca, Francia supo desde 1948 conservar, en el plan técnico; la posición que sus sabios y sus ingenieros le habían conquistado antes de la guerra.

En 1945 tenía en este dominio un fuerte handicap. Por exigencia del invasor, sólo los estudios de laboratorio eran parcialmente posibles. Por otra parte, Francia estaba prácticamente aislada del resto del mundo, un mundo donde las necesidades de la guerra para

los beligerantes, las posibilidades financieras para los no-beligerantes, permitían — si se exceptúa Europa, severamente limitada en recursos, — amplias realizaciones merecedoras de la más franca admiración.

Francia, después de su liberación, envió misiones de estudio a numerosos países para comprobar el estado de las técnicas, la calidad de las realizaciones y compararlas con sus propios estudios silenciosamente proseguidos en sus laboratorios y oficinas técnicas.

De una juiciosa adaptación de estos últimos a los resultados obtenidos en el extranjero destácase ya una técnica propia, adaptada a las necesidades del país.

El campo de aplicación de la técnica francesa a los caminos y bases aéreas es particularmente vasto y abarca a las comunicaciones metropolitanas y de la Unión Francesa en condiciones de clima, suelo y características de circulación sumamente variadas.

El problema del camino y el de la infraestructura aérea, a pesar de ser diferentes en muchos aspectos, deben ser considerados paralelamente. En efecto, los estudios y las realizaciones han tenido influencia sobre las dos técnicas que progresan a menudo una por la otra.

Estabilidad de los suelos. — La construcción de caminos antes de la guerra tenía generalmente el propósito de permitir una circulación pesada, pero no contemplaba cargas concentradas superiores a 5 ó 10 T. (20 a 40 T. por vehículo).

En estas condiciones, la estabilidad del suelo era casi siempre suficiente, y los dispositivos de revestimiento y las fundaciones necesarias eran relativamente económicas.

Como consecuencia, antes de la guerra, si bien el asunto había llamado la atención de numerosos laboratorios, los estudios de éstos no tenían influencia en la práctica, con excepción de lo referente a un drenaje sistemático.

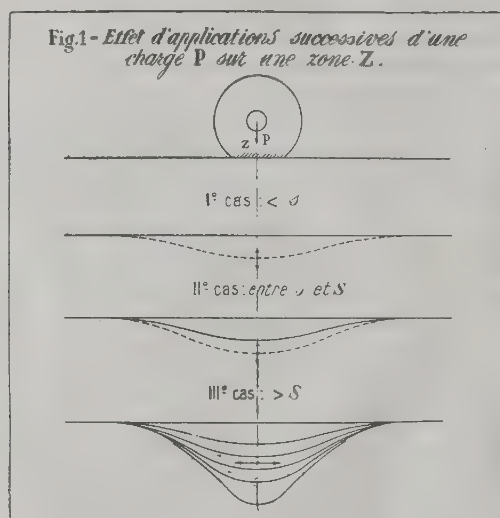
Cuando se trató de encarar los problemas planteados por el aterrizaje y despegue de aviones, el estudio de la estabilidad del suelo en función de la carga pasó a primer plano y se hizo tanto más urgente cuanto las cargas concentradas transmitidas por las ruedas sobrepasaron ampliamente las cargas que tenían que resistir los caminos.

Para evitar los gastos de una fundación gruesa, base del revestimiento flexible, o un espesor de hormigón demasiado costoso y hasta peligroso, tratóse al principio de crear una fundación de

aporte. Sólo más tarde, por economía, fué tratado el suelo mismo, de ahí los estudios sobre la estabilidad de los suelos.

No obstante, todos conocemos la gran experiencia de los Estados Unidos sobre mejoramieno de los suelos, con o sin agregados de materiales pétreos o mezclas. Son conocidas también las conclusiones basadas en el « Test » C. B. R. y las mediciones del módulo de reacción, ligadas a la fórmula de Westergaard, siendo ambos métodos esencialmente empíricos y, a nuestro juicio, discutibles.

Los técnicos, compilando los resultados de millares de ensayos y de realizaciones comparados por los « Test » citados, tienen en los EE. UU. el notorio mérito de haber codificado las normas sancionadas por la experiencia.



En Francia, desde 1944, sobre la base de esos datos norteamericanos y con estudios y realizaciones propios se ha tratado de definir con mayor precisión el conjunto del problema de la estabilidad de los suelos.

Sobre este importante punto parece útil resumir un interesante trabajo del Ingeniero de l'Hortet, Director del Servicio Técnico de las Bases Aéreas.

Considerando una fuerza P sobre una zona Z (fig. 1), conviene tratar la superficie de este cuerpo indefinido para que resista, sin

modificaciones perceptibles, la aplicación de fuerzas iguales o inferiores a P.

Se comprueba que:

— El espesor de la capa a tratar es muy débil (comparable con la mayor dimensión de la superficie ocupada por la carga).
— En ningún punto, bajo la acción de P, los esfuerzos deben provocar una deformación permanente.

Bajo el efecto de la carga se ha comprobado que:

— Las características físicas del medio interesado están modificadas (compacidad, elasticidad y rozamiento interno en especial).
— Un cierto estado de fatiga se establece y persiste creando una adaptación del medio. Esta adaptación puede llegar a ser definitiva si, después de un cierto número de aplicaciones de la carga, no se producen más deformaciones irreversibles; sólo subsisten entonces deformaciones elásticas.
— Si este estado no se alcanza, las aplicaciones de la carga provocan finalmente la destrucción de la obra por estabilidad insuficiente del soporte.

de donde el Ingeniero de l'Hortet concluye:

— que las fatigas internas se deducen de las leyes de la elasticidad,
— que la resistencia de los materiales a los esfuerzos repetidos constituyen una característica esencial.

La opinión que el citado Ingeniero emite es que, en un estado determinado de un material, existe un límite s debajo del cual las fuerzas de unión entre las partículas son superiores a las fatigas, siendo las deformaciones elásticas; más allá, la energía absorbida hace evolucionar el medio hacia una estabilidad aumentada. Esta evolución tiene otro límite S más allá del cual, en lugar de permitir una evolución favorable, las cargas provocarán deformaciones permanentes por escurrimiento lateral y esas deformaciones crecerán indefinidamente.

El límite s depende del estado inicial. S al contrario es una característica absoluta o « aguante » del material.

Buscar su valor absoluto podría llevar a una interpretación delicada.

Prácticamente se miden los hundimientos relativos correspondientes a un número dado de pruebas bajo presión constante, para varios valores de esta presión; de los resultados obtenidos puede extraerse una clasificación representativa de los suelos.

Finalmente, el Ingeniero de l'Hortet propone definir, como factor de aguante correspondiente a un estado inicial dado, la presión, que, después de un número dado de aplicaciones por medio de un aparato standard, provocaría un hundimiento relativo. Esta prueba es bastante parecida al ensayo Proctor, pero corresponde a una indicación de significación directa.

Volviendo a la hipótesis de los límites s y S concíbese que, frente a un caso concreto, el Ingeniero deberá ante todo esforzarse por utilizar el suelo al máximo.

Partiendo de esta idea y para acercarse a S se dará al suelo los tratamientos mecánicos necesarios, por ejemplo compactación por rodillos pata de cabra y de neumáticos, operaciones que tienden a aumentar la estabilidad del suelo.

FUNDACIONES. — Si las cargas que debe soportar el suelo a través del revestimiento son tales que las fatigas llevan este suelo más allá del equilibrio correspondiente al límite S, es necesario interponer una fundación entre las cargas y el suelo.

Prácticamente el problema se presenta así:

Para aeródromos. —

a) cuando se trata de cargas concentradas muy pesadas;

b) cuando, siendo esas cargas menos elevadas, se considera solamente un revestimiento de poco espesor.

Para caminos. — En el caso de una circulación relativamente pesada, pero poco intensa, sobre recorridos muy largos y donde solamente una solución de este tipo es económica (falta de materiales pétreos).

Después de tratar mecánicamente el suelo con miras a acercarlo al estado de equilibrio correspondiente a S, se constituirá una fundación que permita, bajo las cargas previstas, asegurar la estabilidad de la obra en el tiempo.

A los diversos medios de que disponía la técnica caminera se ha sumado una solución más reciente; el basamento de hormigón de arcilla.

La técnica del hormigón de cemento es actualmente tan conocida como la de los hormigones bituminosos; la de los hormigones de arcilla es menos familiar.

Este procedimiento ha sido ampliamente utilizado en los Estados Unidos, a cuyos ingenieros se debe en este asunto una contribución considerable y decisiva. No obstante los ingenieros franceses se esforzaron en plantear más científicamente el problema.

El hormigón de cemento necesita una liga hidráulica, el hormigón bituminoso una liga hidrocarburada; en el hormigón de arcilla la liga es la argamasa arena arcilla. Los estudios efectuados para mejorar esos hormigones de arcilla hacen intervenir las teorías más abstractas de la mecánica de suelos y salen del marco de esta conferencia.

Esos estudios han sido proseguidos en Francia particularmente por el Ingeniero Bonnenfant, Director de Obras Públicas en Túnez, y por el Ingeniero Sindzingre, Ingeniero de Puentes y Caminos. Este último presentará en el próximo Congreso de Rotterdam las conclusiones obtenidas.

Los hormigones de arcilla realizados en Túnez, sobre recorridos largos, están constituídos por material de aporte machacado, a pesar de ser el empleo de materiales naturales aluviales más ventajoso desde el punto de vista económico, especialmente para caminos y pistas. Los estudios actuales tienen como propósito ampliar el uso de esos materiales redondos.

La resistencia a la compresión de los hormigones de arcilla se consigue por una mezcla de las partículas tan perfecta como sea posible. La evaporación crea tensiones capilares en el interior de la liga y entre la misma y la grava; resulta una resistencia a la tracción a la cual se agrega otra resistencia debida al « frettage » recíproco de las partículas del esqueleto en el momento del cilindrado.

Se comprende así que la acción de las aguas pluviales sea limitada por la poca superficie de penetración entre granos apretados de grava y por la buena calidad de la argamasa cuyo límite de absorción será inferior al límite de retraimiento.

Es fácil concebir que, en el caso de materiales redondos, la trabazón es menor y que el efecto de « frettage » será disminuído.

Aunque en Europa esos hormigones de arcilla sirvan de base y estén generalmente protegidos por un revestimiento, las mismas

normas rigen si se los conserva como superficie de rodamiento con la condición de hacer una « impregnación » superficial.

Los hormigones de arcilla bien hechos tienen cualidades elásticas permanentes. Presentan resistencias muy grandes cuando no están saturados, condición absolutamente necesaria para resistir sobrecargas elevadas.

La tendencia francesa se orienta hacia la realización de fundaciones de hormigón de arcilla permanentemente no saturado, que tienen así una resistencia muy fuerte, aún cuando son revestidos. Ciertas precauciones deben tomarse para conseguir la impermeabilidad más rigurosa posible del revestimiento, cosa relativamente fácil de conseguir con revestimiento del hormigón de cemento, pero más difícil con revestimientos bituminosos. También deben tomarse precauciones para evitar que el agua del subsuelo pueda subir por capilaridad. Tampoco deben rajarse por efectos de la sequía.

La técnica de ejecución de los hormigones de arcilla es todavía delicada y necesita un equipo especializado importante; sin embargo este sistema es de gran recurso, por un lado, para establecer bases aéreas sobre suelos mediocres o bases para tráfico de aviones muy pesados, y por otro lado, para construcción de calzadas de poco movimiento sobre recorridos muy largos. En este último caso, ningún otro sistema puede permitir establecer una plataforma tan económica y no obstante tan buena para las ruedas. Por esta razón se prevé utilizar principalmente esta técnica para organización de las vías de comunicación en la Unión Francesa.

Pero este procedimiento no puede emplearse fácilmente en los países donde el número de días lluviosos es elevado en todas las estaciones. En efecto los límites admisibles del porcentaje de agua en la mezcla en el momento de su colocación son muy estrechos. Esto obliga a detener la obra no solamente durante la lluvia, sino también hasta que se evapore el exceso de agua accidentalmente agregado a la mezcla. He aquí una de las razones del empleo limitado del procedimiento en la Francia metropolitana. La ejecución es, al contrario, facilitada en los países cuyo clima comprende una estación seca.

Revestimientos. — Los revestimientos con mezcla hidrocarburada y hormigón bituminoso siguen siendo muy utilizados en Francia, principalmente sobre la red caminera; hasta ahora, al contrario,

las pistas para aviones son generalmente revestidas con hormigón de cemento, al menos cuando se trata de pistas destinadas a un tráfico de aviones de peso medio y elevado.

Estudios sobre revestimientos hidrocarburados. — En lo que se refiere a los revestimientos hidrocarburados, numerosos estudios han sido realizados tanto en los laboratorios oficiales y privados como en las obras.

Han sido perfeccionados procedimientos mejorados utilizando el bitumen, el alquitrán o ambos conjuntamente. Para darse cuenta de la amplitud de los trabajos realizados basta citar los estudios del laboratorio de Puentes y Caminos en París bajo la Dirección del Ingeniero Duriez y del Ingeniero Peltier, que se refieren al hormigón bituminoso compacto para caminos y aeródromos y que se ocupan de la determinación de la granulometría óptima y de la realización de la estructura interna de esos hormigones.

Estos estudios muestran que las estructuras internas más compactas no dan necesariamente los mejores hormigones, dependiendo también el resultado de la superficie específica de esta estructura interna, así como del tamaño del elemento medio y por ende del espesor de la delgada capa envolvente, espesor que disminuye más despacio que el diámetro del elemento.

Si la superficie específica es demasiado grande, no hay armonía entre la cantidad de mezcla necesaria según los vacíos y la cantidad necesaria para conseguir un espesor óptimo de la delgada capa envolvente.

El Ingeniero Duriez demuestra que la cantidad de mezcla necesaria es proporcional a la raíz quinta del diámetro medio de los granos y que existe una relación algebraica óptima entre la superficie específica (o su raíz quinta) y la compacidad máxima de la mezcla elegida.

Entonces si se aumenta la compacidad de una mezcla, para que quede racional, debe ser elegida de manera de disminuir la superficie específica.

Una granulometría discontinua puede emplearse para hormigones bituminosos.

Fueron también estudiados hormigones hidrocarburados del tipo semicerrado, conveniente para aeródromos, con muy poco « filler » y menos de 45 % de gravilla. Esos hormigones son una mejora de los hormigones abiertos utilizados sobre los caminos de Francia

antes del año 1940; los porcentajes de vacíos se reducen del 20 % al 10 % simultáneamente.

La adhesividad del bitumen con los materiales ha sido objeto de estudios poniéndose en evidencia la importancia de los compuestos tenso-activos y de los jabones catiónicos, que facilitan la emulsión de las mezclas.

Por fin estudios sobre la impregnación de los suelos por mezclas capaces de protegerlos contra la penetración capilar del agua, se han revelado particularmente interesantes para el hormigón de arcilla.

REVESTIMIENTO DE HORMIGÓN. — La producción francesa de cemento, aunque igual a la de 1938, es insuficiente con respecto a la gran demanda creada por la Reconstrucción y el equipo del país.

Por eso en Francia el empleo del revestimiento de hormigón no ha seguido llevándose a cabo, pero ha sido utilizado en gran escala para las pistas de aeródromos, pistas de carreteo y áreas de estacionamiento de aparatos.

Hasta 1946 siguieron empleándose losas de hormigón más o menos espesas según el tráfico previsto. El cálculo del espesor de la losa resultaba de la aplicación de la conocida fórmula de Westergaard, partiendo de un módulo de reacción del suelo estimado o avaluado experimentalmente cuando era posible.

Posteriormente una franca evolución se produjo, tanto en lo que se refiere al tipo de fundación de esas losas como en su propia contextura.

Utilizóse muy a menudo el suelo compactado con o sin adición de materiales correctivos. Así en Orly una nueva pista ASV para aviones de 135 T. fué establecida con diversos tipos de revestimientos, todos de hormigón, sobre 20 y 34 cm de suelo compactado con adición de gravilla del Sena.

Esta pista de Orly, de 2.000 m sobre 60 m, está constituída por tres tipos diferentes de revestimientos de hormigón.

Una primera parte de 400 m más o menos ha recibido un revestimiento de hormigón precontraído de 16 cm de espesor, una segunda parte de 1.500 m está formada por una losa de hormigón de 30 cm de espesor. Por fin una longitud de 100 m está constituída por una pista del tipo llamado « cajón ».

PISTAS DE HORMIGÓN PRECONTRAÍDO. — La « precontracción » aplicada a la pista de Orly fué concebida por el Ingeniero Freyssinet,

cuyo papel determinante en el terreno de los hormigones es bien conocido tanto en los estudios científicos como en la práctica.

En una reciente conferencia, el Ingeniero Netter, quien dirigió esos trabajos por cuenta de la Administración Nacional, ha expuesto

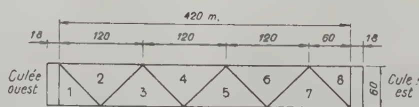
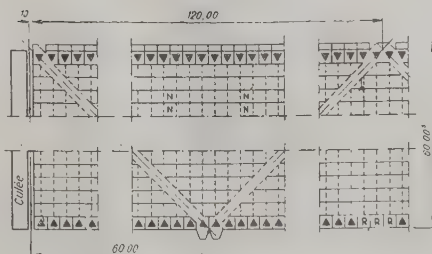


Fig. 2

Fig 2 bis



N - *Elements normaux*
R - " *de rive*
▲ - *Cônes d'ancrage*

los dispositivos técnicos de esa aplicación de la precontracción en los ensayos preliminares y en la ejecución.

Los datos fundamentales pueden resumirse así:

La pista está destinada a recibir cargas concentradas de 62 T. 500 sobre un círculo de poco más o menos 50 cm de radio. Tiene 16 cm de espesor. El revestimiento, apoyado sobre una base de hormigón de arcilla de 0 m 34 encima del cual ha sido colocado un espesor de 5 cm de arena del Sena (fig. 2), consta de dos partes; la losa y los apoyos. La losa, dividida por juntas de 45° sobre el eje longitudinal, forma 6 triángulos rectángulos isósceles de 120 m de hipotenusa de 60 m de altura (fig. 2 bis).

JUNTAS. — Las juntas deben poder transmitir compresiones horizontales y esfuerzos cortantes verticales pero deben impedir cualquier rozamiento en sentido horizontal. A este efecto van consti-

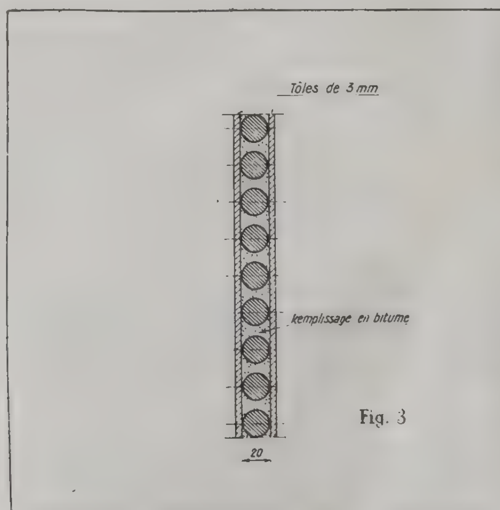


Fig. 3

tuídas (fig. 3) por rodillos de 2 cm de diámetro, de acero medio duro, con distancia de 2 cm 5 entre ejes, trabajando entre chapas de acero dulce de 3 mm de espesor, ensartadas en el hormigón. Descansan las juntas sobre longrines de hormigón de 0, m 18 de espesor y 0 m 50 de ancho colafadas en la fundación (fig. 4).

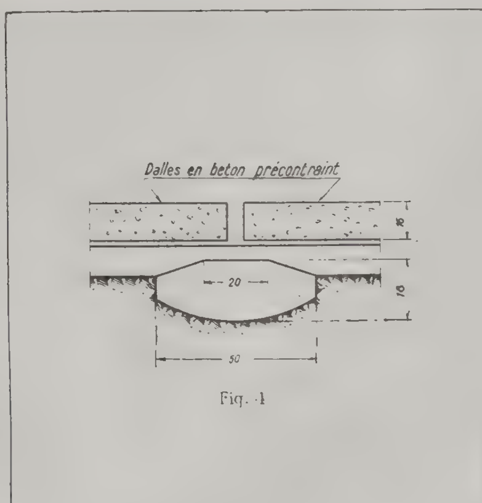


Fig. 4

Cables. — La precontracción está asegurada por cables compuestos de 30 hilos paralelos de 5 mm de diámetro en acero de alta elasticidad, dispuestos transversalmente cada metro y abriéndose en 3 napas en las losas del borde; los cables que pasan por

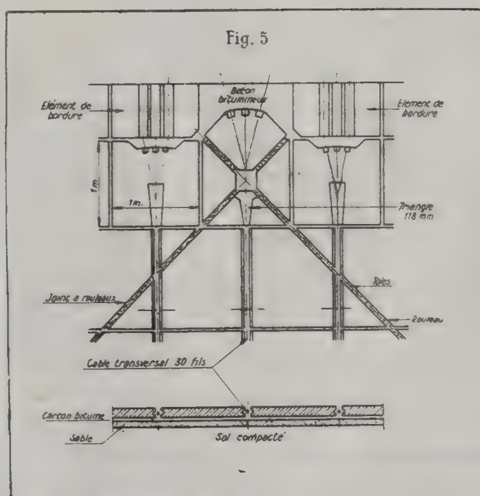


Fig. 5

los vértices ortogonales de los triángulos van anclados en una losa de forma especial (fig. 5).

Apoyos. — En sus dos extremidades, dos apoyos limitan la losa que descansa sobre ellos por medio de juntas idénticas a las descritas más arriba. Los apoyos están formados por una losa de espesor variable, de 60 m de largo y 1 m 80 de ancho, unida por láminas espirales de hormigón con 12 pilas verticales alcanzando una profundidad de 8 m y altos de 3 m 50 (fig. 6).

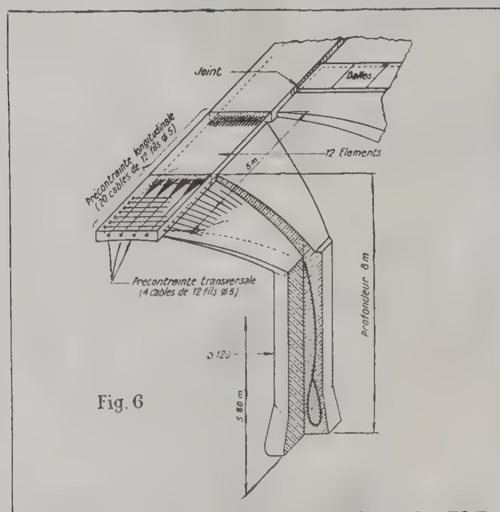


Fig. 6

Esta losa es precontraída, en el sentido perpendicular al eje, por aceros anclados por adherencia en el hormigón y en el sentido de la pista por cables de hilos paralelos envueltos en papel bituminado que se continúan en las espirales y se abren en las pilas donde son anclados.

Las juntas longitudinales entre placas están terminadas a martillo con argamasa seca dosada a 600 Kg de cemento por m³ de arena. Las juntas transversales son tratadas en la misma forma hasta un nivel inferior al de los cables.

Colocación de las juntas. — Las juntas de rollos fueron preparadas con anticipación por elementos de 2 m 80; los rollos estaban soldados por algunos puntos sobre las chapas; puntos que debían

ceder en el primer esfuerzo sobre los rollos. Los elementos preparados fueron colocados en su lugar y el vacío entre la chapa y las placas de hormigón fué rellenado con argamasa como las juntas entre las placas.

PREPARACIÓN DE LOS CABLES. — Los cables fueron puestos en tensión por medio de gatos del modelo estudiado por el Ingeniero Freyssinet, modelo ahora clásico. El anclaje era conseguido por trabazón de los cables entre conos machos y hembras, sistema bien conocido ahora.

Los ensayos han sido realizados sobre una losa de prueba y después en la misma obra. Sería demasiado largo dar aquí los detalles, muy interesantes, de los mismos.

Las conclusiones de estos ensayos ponen en evidencia que las hipótesis básicas han sido completamente comprobadas por la experiencia y que, en cuanto esos ensayos corresponden a condiciones parecidas a las de la utilización práctica de la pista, ésta será enteramente capaz de cumplir con su papel. He aquí un importante éxito técnico que convenía hacer resaltar. En el terreno práctico quedan por resolver la cuestión del costo de tales obras y la formación de la mano de obra familiarizada con esas ejecuciones que necesitan un control precico y muy cuidadoso.

PISTAS « CAJÓN ». — La pista cajón se funda en la idea siguiente:

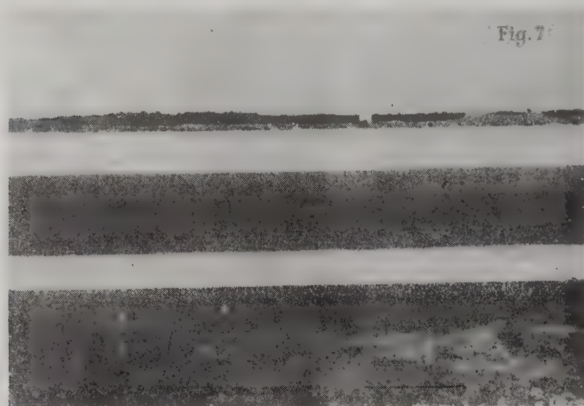
Según la fórmula de Westergaard el espesor de la losa es función directa del módulo de reacción del suelo. Es menester que el suelo ayude a la losa antes que ésta sufra esfuerzos causando una deformación permanente.

Si se consideran espesores relativamente pequeños, de 20 a 25 cm como límite máximo, no parece que se pueda solucionar el problema por mejoramiento del suelo o por fundaciones ejecutadas con los medios actualmente conocidos.

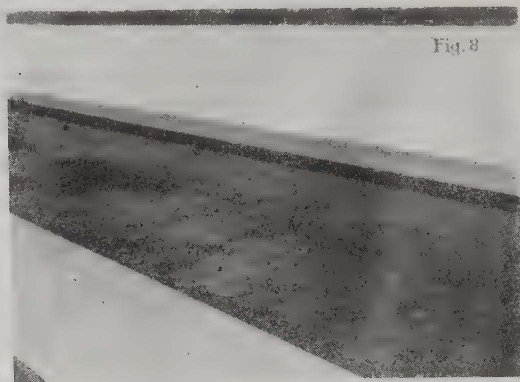
Sin embargo para cargas muy elevadas, es indiscutible que un espesor exagerado de la losa tiene inconvenientes directos; basta indicar los esfuerzos internos creados en la misma losa por la diferencia de temperatura entre intrados y extrados.

Se debe notar también, como dice el Ingeniero Netter, que las losas espesas presentan un límite de flecha admisible que no permite sacar todo el provecho de un excelente soporte todavía bastante elástico.

De ahí la idea de colocar en el suelo, a una profundidad, función de la carga a soportar, una pantalla delgada de hormigón (fig. 7 y 8).


Fig. 7

Habiendo construído esta pantalla, se agrega encima un espesor dado del suelo mismo, de materiales de aporte o de una mezcla de ambos, que puede compactarse o eventualmente aglomerarse por adición de una pequeña cantidad de cemento. Sobre esta base


Fig. 8

se construye la losa de revestimiento. Como ejemplo, para el aeródromo de Brazzaville, previsto también para 135 T., la pantalla tiene 10 cm de espesor con dosaje de 200 Kg de cemento; se vuelve

a colocar el suelo mismo del aeródromo sobre 25 cm de espesor, agregando el agua necesaria para conseguir la compacidad máxima, haciéndose el terreno rápidamente coherente. Sobre la base así constituída constrúyese un revestimiento de 24 cm de espesor.

En la misma hipótesis de carga y de resistencia a la tracción se hubiera tenido que prever un revestimiento de 39 cm de espesor con hormigón de 350 Kg de cemento.

El papel desempeñado por la pantalla es múltiple; asegura una repartición ampliada de las cargas sobre el suelo, factor ya muy importante; además permite el empleo con toda seguridad del material de relleno y, cuando se trata de un material de arcilla, el porcentaje de agua de ejecución no será modificado ni por evaporación ni por adición de agua segurándose que sus condiciones de cohesión quedarán constantes más adelante. Así en Brazzavill, teniendo en cuenta la presencia de la pantalla que lo hace factible, la compactación se hace asentando la mezcla por vibración con el aparato Vibrosol, consiguiendo una compacidad máxima del suelo tratado.

Paredones contra socavación ubicados paralelamente al eje de la pista completan el « cajón » e impiden el eventual escurrimiento lateral del material de relleno.

La pantalla tiene también la ventaja de suprimir las uniones entre losas, con la sola precaución de dar un sobreespesor de 10 cm a la pantalla, en la vertical de las juntas de dilatación. Las losas descansan así sobre una mesa por intermedio de una mezcla de arenas bituminosas, evitando cualquier punto de mayor resistencia.

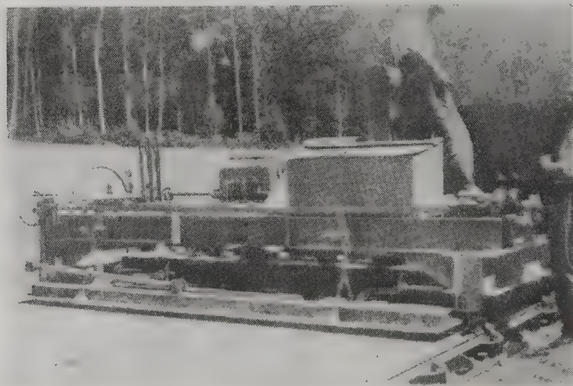
Algunos dispositivos secundarios referentes a las juntas, cuyo examen aquí sería demasiado largo, completan el conjunto.

El pliego de condiciones francés para el establecimiento de revestimientos de hormigón. — Si en Francia la técnica busca y emplea procedimientos nuevos para fundaciones o revestimientos, también las especificaciones exigidas de las empresas son bastante diferentes de las impuestas en otros países.

Un nuevo pliego de condiciones está por aparecer; las modificaciones, si bien poco profundas, hechas al texto anterior de fecha 1937, tienen en cuenta la experiencia de estos diez últimos años.

Características de los revestimientos. — El pliego de condiciones de 1937 aconsejaba la ejecución de revestimientos en doble

capa; una capa inferior con dosaje pobre y materiales ordinarios, una capa superior de mezcla más rica y de materiales duros. El nuevo texto generaliza la ejecución de revestimientos en una sola capa, siendo aconsejados los revestimientos de dos capas sólo en el caso de un tránsito especial (llantas metálicas) o en la cercanía de instalaciones industriales.



Los espesores especificados son de 15 a 24 cm según la categoría de los caminos, uniformes sobre todo el largo de la losa, salvo caso excepcional.

Las juntas previstas son de dilatación (cada 20 ó 30 m), entre las cuales se disponen dos juntas de contracción o de flexión cada 7 a 10 m.

Las juntas de dilatación tienen 2 cm de espesor en principio sin unión; no obstante se coloca debajo de la losa una mesa de hormigón cuyo espesor aproxímase a la mitad de la del revestimiento y cuyo ancho es 4 a 5 veces este mismo espesor; excepcionalmente prisioneros pueden unir las losas (fig. 16).

Sobre las calzadas de más de 5 m de ancho está prevista una junta longitudinal.

Características de los hormigones. —

1) Los hormigones especificados son de granulometría discontinua y deben contener un volumen absoluto mínimo de 450 litros de piedras por m³ de hormigón.

2) La cantidad de cemento debe obligatoriamente estar entre 300 y 400 Kg por m^3 de hormigón.

3) La cantidad máxima de agua por m^3 comprendida la incluída en los materiales, debe ser:

$$45\,l + 0{,}23\,C,$$

siendo C el peso de cemento en 1 m^3 de hormigón;sea para 300 Kg:

$$E = 45 + 69\,l = 114\,l, \quad \text{es decir,} \quad \frac{E}{C} = 0{,}38$$

Como se ve esta condición es especialmente rígida.

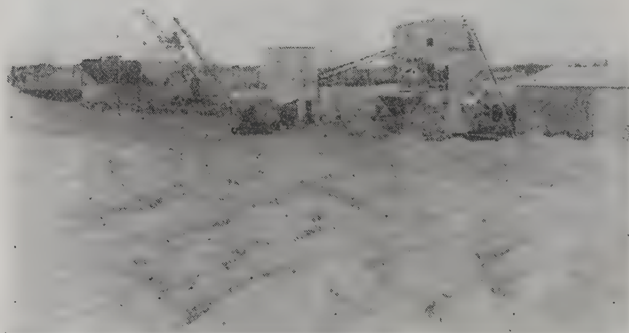
4) La resistencia a la compresión a los 28 días debe tener un valor mínimo de 300 Kg (medida sobre cubos de 20 × 20 × 20 en el caso de piedras de 20 a 50 mm sobre cubos de 30 × 30 × 30 en el caso de piedras de 30 a 70 mm).



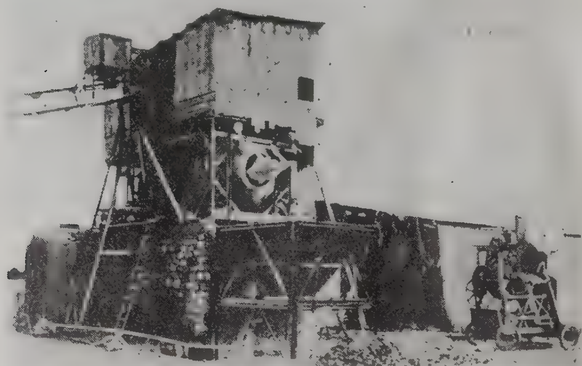
Severas especificaciones son impuestas para la elección de los materiales, su granulometría y sus cualidades; así como para los cementos.

Fabricación de los hormigones. — Los hormigones deben ser preparados mecánicamente siendo una obligación pesar la areba y hacer la corrección correspondiente por su contenido de agua.

El método generalmente adoptado es el dosaje del pastón en « batching plant », y cada vez que sea posible en « mixing plant » (fig. 11 a 14).


Fig. 11

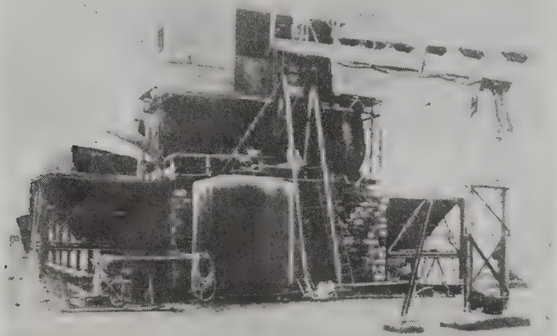
La duración de la operación de mezcla debe estar comprendida entre 1 y 2 minutos según los tipos de mezcladores.



Colocación de hormigón. — El hormigón es obligatoriamente puesto en obra por vibración, lo que es absolutamente necesario a

causa de la pequeña cantidad de agua contenida. Usanse en general máquinas de tipo pesado con viga vibradora perpendicular al eje de revestimiento. El perfil se consigue por intermedio de la misma (el uso de la cinta es imposible dado la compacidad del hormigón), lo que resulta fácil gracias a la potencia de la máquina (fig. 9 y 10). Los desperfectos de la superficie son corregidos con hormigón apisonado excluyendo el relleno con argamasa.

Antes de la colocación del hormigón pónese sobre la base un papel Kraft de 120 a 150 g (fig. 15).



PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN. — Una de las ventajas del empleo de hormigones secos es hacerlos mucho menos sensibles a los efectos de la temperatura y de los agentes atmosféricos. Por eso se necesitan menos precauciones. Cuando el sol es muy fuerte protégese el revestimiento con una capa de paja o de arena que se conserva húmeda durante 8 días.

CONTROL DE LA CALIDAD DEL REVESTIMIENTO. — Una de las diferencias esenciales del pliego de condiciones francés, con los textos extranjeros correspondientes, estriba en el modo de control, y en la forma de conceder las primas e imponer las penalidades a la empresa.

ENSAYOS PRELIMINARES. — Antes de cualquier principio de ejecución la empresa debe someter al laboratorio indicado por la Administración, los materiales y ligas que piensa utilizar, y, dentro

de los límites impuestos por el pliego de condiciones, la especificación de las granulometrías y dosajes preconizados.



Con esos datos el laboratorio averigua si los cementos y materiales corresponden a las condiciones impuestas y, en presencia de la empresa y de acuerdo con sus especificaciones, procede a la confección de las probetas de hormigón. Tienen lugar ensayos a los 7 días y según sus resultados autorízase o no a la empresa para empezar. Si esos ensayos no dan satisfacción la empresa debe proponer nuevas especificaciones. Una vez aceptadas definitivamente las especificaciones (después de ensayos a los 28 días) establécese la densidad teórica del hormigón con la fórmula:

$$D = \frac{P + S + 1{,}20\,C}{\frac{P}{\pi} + \frac{S}{\sigma} + \frac{C}{\gamma} + 0{,}95\,E}$$

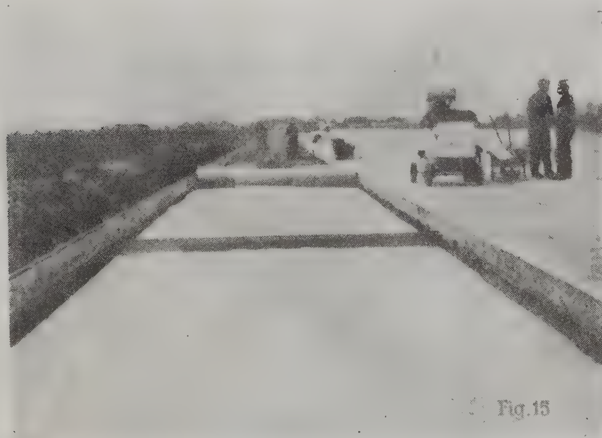
en la cual P, S, C y E son los pesos de piedra, arena, cemento y agua componentes de la mezcla, siendo π, σ, γ los pesos específicos de los mismos.

Como se ve, para que esta fracción represente la densidad teórica del revestimiento, es necesario que el peso de agua combinada con el cemento sea igual al 20 % del peso de este último y que, por otra parte, el 5 % del agua se pierda por evaporación.

Siendo establecida la densidad teórica del control en obra se limita a comprobar la calidad constante de los materiales y del

cemento así como la regularidad de las mezclas (proporción de piedras, arena, cemento, agua), no haciéndose más ensayos a la compresión ni a la flexión.

A medida que prosigue la ejecución del revestimiento, y a más tardar 40 días después de la colada, se sacan muestras por medio de una sonda de 30 cm de diámetro (1 muestra por cada 1.500 m² de revestimiento).


Fig. 15

Las muestras son llevadas al laboratorio, haciéndose dos mediciones:

1) medición de espesor E_e (promedio de 4 generatrices en direcciones perpendiculares);

2) medición de la densidad D_e después de secar las muestras en un horno de ensayos a 80° hasta peso constante y de untarlas con parafina (con deducción naturalmente del volumen de parafina).

Pagos a la empresa. — El pago a la empresa se hace según precios unitarios por m² con las reservas siguientes:

Para el espesor. — Se paga a la empresa el sobreespesor $E_e - E$ hasta 1 cm 5 o se le deduce lo que corresponde al doble del espesor faltante $E - E_e$; si el espesor faltante es superior al $^1/_6$ del espesor

previsto, la Administración puede exigir la demolición del revestimiento.

Por la compacidad. — La densidad D_t debe ser por lo menos igual a 0,96 D_t. Si D_e es superior a 0,97 D_t la empresa recibe, para cada medio punto arriba de 97, una prima de 2 % del precio del revestimiento. Si D_e es inferior a 0,96 D_t, por cada punto debajo de 96, habrá una multa del 2 % del mismo precio, que se duplicará por cada punto debajo de 93.



Fig 16

Si por ejemplo D_e = 0,917 la penalidad será:

$$2\ \% \times 4 + 2\ \% \times 1 = 10\ \%.$$

Esas medidas, aplicadas desde hace 10 años en Francia, han dado resultados excepcionalmente interesantes por las razones siguientes:

1) suprimiendo la interpretación de los resultados de los ensayos de compresión y tracción, sobre cubos o probetas, resultados cuya dispersión obliga a tolerar márgenes que hacen prácticamente

ilusorias las condiciones impuestas y que, si no son suficientes, provocan dificultades y desacuerdos;

2) pagando equitativamente a la empresa.

En efecto, para tener la seguridad de conseguir el espesor exigido la empresa debe tomar un margen, y si toman este margen en cuenta en su presupuesto la Administración corre el riesgo de pagar un especor no enteramente ejecutado. Si no lo toma en cuenta corre el riesgo de perder ingentes sumas. Mientras que siendo reconocidos sobreespesores limitados, la empresa preparará su molde con 1 cm más de lo previsto. Y si no entrega el espesor convenido no tendrá disculpa y se le aplicará una severa penalidad.

En cuanto a la compacidad, como las resistencias aumentan en función de la misma, la Administración tiene interés en conseguir una calidad máxima, lo que será también el interés de la empresa, puesto que será indemnizada con una suma superior al aumento de los gastos invertidos y con el costo de los materiales y cemento suplementarios que entren en la unidad de volumen.

Indicaremos por fin que las cualidades de superficie son controladas por medio de un aparato llamado Viagraphe, que da a cada revestimiento un coeficiente, función de las desnivelaciones del revestimiento con respecto a su cota teórica.

Estas son las razones por las cuales, a nuestro parecer, el hormigón de revestimiento tiene en Francia cualidades que van siempre mejorando gracias al perfeccionamiento de centrales de hormigón precisas y de potentes máquinas de ejecución.

RESEÑA DE METEOROLOGIA ARGENTINA

POR EL CAPITÁN DE CORBETA

EMILIO L. DIAZ

Conferencia pronunciada en la Sociedad Científica Argentina el 23 de junio de 1948.

La altura de la atmósfera que rodea la tierra es difícil de precisar pues no puede definirse un nivel exacto donde comienza el vacío. Las auroras boreales y australes, que son los fenómenos, visibles desde el suelo, que ocurren a mayor altura, acusan niveles del orden de los 1000 kilómetros y ésta es la altura que asignaremos a la atmósfera.

Como dato informativo sobre las auroras australes, podemos mencionar que debido al hecho de que el polo magnético sur está ubicado al sur de Australia, la latitud magnética de nuestro país es menor que la latitud geográfica, razón por la cual las auroras son fenómenos raros en la zona austral argentina. El que habla tuvo ocasión de ver dos, una desde el Estrecho de Magallanes en marzo de 1940 y otra desde el estrecho de Drake, mientras navegaba a unas 200 millas al sur del cabo de Hornos, en mayo de 1947. Ambas eran de color rojo, la primera se manifestó como manchas luminosas en el cielo que cambiaban de sitio a cada instante; la segunda presentaba colgaduras rojas brillantes que ocultaban las estrellas de segunda magnitud.

Tanto las indicaciones del barómetro como las del termómetro disminuyen con la altura, sin embargo, existe un cierto nivel a partir del cual el termómetro no desciende más y aún, a veces, acusa una ligera subida. Este nivel, que más bien debemos considerar como zona, ya que el fenómeno no es brusco, define la base de la estratosfera. Esta base se encuentra a mayor altura sobre el ecuador (unos 18.000 metros) que en las regiones templadas (cerca de 11.000 metros) o que en las polares (7.000 metros). En la región antártica, en el interior del continente durante el invierno,

a veces se observa la desaparición de la tropopausa, o dicho en otras palabras, la base de la estratosfera está en contacto con el suelo helado.

Desde el punto de vista meteorológico, la zona atmosférica más interesante es la troposfera, la zona comprendida entre el suelo y la base de la estratosfera, pues allí tienen lugar la gran mayoría de los fenómenos que la meteorología estudia. Dentro de la troposfera, el gradiente térmico vertical tiene un valor medio de 0°,6 C por cada 100 metros.

Los ascensos y descensos de masas de aire en el seno de la atmosfera se consideran adiabáticos cuando ocurren en intervalos relativamente cortos de tiempo. La variación de temperatura de una masa de aire, por efecto de la expansión o compresión a que la variación de la presión con la altura la somete al elevarse o descender, es del orden de 1° C por cada 100 metros. Esto es cierto siempre que la masa que se eleva no alcance el punto de saturación, pues cuando tal cosa ocurre, el vapor de agua comienza a condensarse y liberar un calor de condensación proporcional a la cantidad de vapor condensado. Este calor se incorpora al aire y neutraliza en parte el enfriamiento adiabático, con lo cual la razón de descenso de la temperatura de esa masa de aire disminuye de 1° C cada 100 metros a 0°,4 o 0°,5 C.

Como la razón de enfriamiento adiabático seco (antes de llegar a la saturación) es de 1° C por cada 100 m, resulta sencillo calcular la altura de la base de las nubes que se formarían si una masa de aire próxima al suelo fuera elevada. Aunque la fórmula que sigue no es rigurosamente exacta, pues el punto de rocío difiere de la temperatura del nivel de condensación, esta diferencia es suficientemente pequeña como para autorizar que:

$$h = 115\ (T - Tr),$$

donde:

h = Altura de la base de las nubes (metros).

T = Temperatura actual en superficie.

Tr = Punto de rocío (temperatura de condensación en superficie).

Esta fórmula nos permite prever la altura de la base de los cúmulos producidos por el calentamiento del día.

La noción de estabilidad o inestabilidad del aire surge de las consideraciones anteriores. Se dice que la atmósfera es estable cuando la distribución de temperaturas en función de la altura

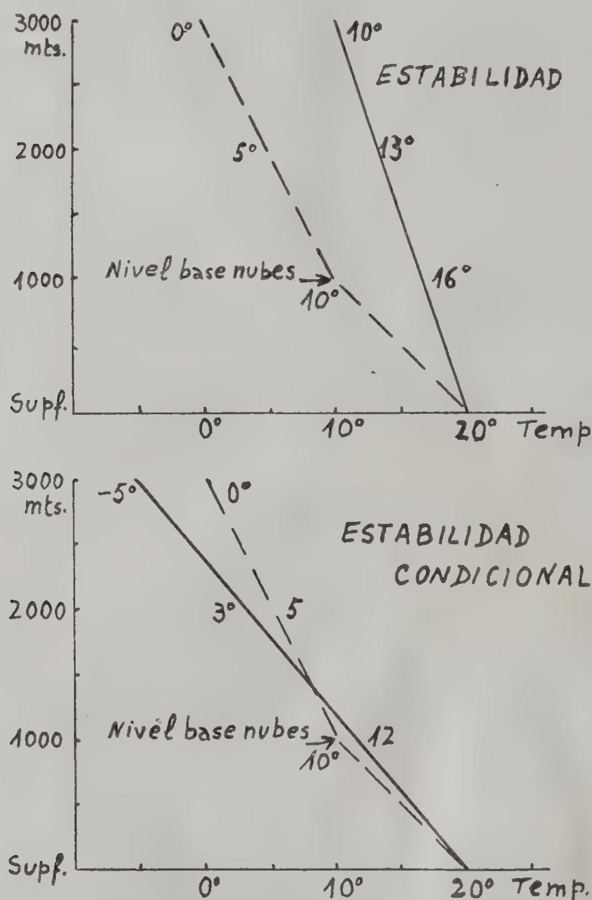


Fig. 1.

es tal que tiende a oponerse a los movimientos verticales de las partículas de aire. Por el contrario, la noción de inestabilidad proviene de una distribución tal que la atmósfera tiende a favorecer esos movimientos verticales.

Como la variación de temperatura de una masa de aire que se eleva es fija, cambiando solamente al llegar al nivel de condensación, el concepto de inestabilidad o estabilidad proviene del gradiente térmico vertical de la atmósfera en el instante considerado. La figura 1 informa ambos aspectos; un gradiente pequeño, es decir, una suave disminución de temperatura en función de la altitud, significa que siempre la temperatura del aire que rodea a la masa que se eleva será más caliente que la de esa masa y por tanto esta última resultará más pesada. Ello implica que si no hay fuerzas exteriores que actúen esa masa tenderá a volver a su nivel primitivo. Por el contrario, la parte inferior de la figura muestra un caso de estabilidad condicional, pues el gradiente térmico vertical es grande y el aire de la masa que asciende tenderá a volver a su nivel de origen sólo en el caso de que no llegue a cortar la línea del gradiente, pues a partir de ese instante la masa que sube resultará más caliente que la atmósfera que la rodea y el movimiento hacia arriba se acelerará por sí solo.

Chubascos. — Este pequeño análisis nos ayudará a comprender dos tipos de chubascos que son comunes en nuestro país, denominados vulgarmente chubascos de calor y de frío. Los primeros son más frecuentes en verano, en la zona situada al norte de los 38° S. Aquí el mecanismo del chubasco es puesto en marcha por el intenso calentamiento diurno, y en consecuencia ocurren normalmente al caer la tarde. Las condiciones de la atmósfera que permiten su formación son fácilmente detectables, cuando la temperatura es desusadamente elevada durante la mañana, los vientos son suaves, los grandes cúmulos empiezan a formarse desde temprano y el barómetro experimenta un rápido descenso después del medio día, pueden esperarse tormentas de calor en el atardecer.

Los chubascos de frío, o mejor dicho de masa aérea fría, son también provocados por un calentamiento desde abajo de la masa de aire, pero aquí el calentamiento proviene del traslado del aire hacia zonas en las que el agua de mar está a mayor temperatura que la del aire. Estos chubascos se observan en nuestro litoral marítimo cuando soplan vientos fuertes del cuadrante sur con barómetro normal o inferior al normal. Las temperaturas del agua de mar aumentan desde la latitud de las Malvinas hacia el norte y ese aumento se acelera al llegar a la altura de Mar del Plata, zona de encuentro de la corriente cálida del Brasil con la fría que viene del

sur. El aire que fluye rápidamente de una región donde el mar está de 4° C a 7° C llega a otra en donde encuentra de 10° C a 18° C, según sea invierno o verano, y esta diferencia, unida al fuerte viento, produce turbulencia violenta y chubascos.

Lluvias. — Pasemos ahora a la distribución de las lluvias en nuestro país. La principal característica a observar es que la mayor parte de las precipitaciones en la región que se extiende al norte de los 40° S o 38° S ocurre en los meses calurosos, esto es, de Octubre a Marzo. En la región austral, la Patagonia, la mayor proporción parece ocurrir en los meses invernales.

En lo que se refiere a la distribución de la cantidad de agua caída, es posible distinguir seis zonas características en la parte continental de la Argentina (Malvinas y Antártida excluídas).

a) Zona Mesopotámica, que comprende la cuenca del Paraná, Uruguay y el río de la Plata, en la cual las precipitaciones exceden los 1000 mm anuales y en donde la diferencia entre el verano y el invierno no es tan marcada.

b) Zona Mediterránea, que incluye Córdoba, San Luis y las provincias andinas, en la cual las lluvias están comprendidas entre los 200 y los 800 milímetros por año (disminuyen en sentido Este-Oeste) y en la cual el carácter estacional es bien definido.

c) Zona Noroeste, de la que forman parte Tucumán, Salta y Jujuy, en donde existen núcleos de media anual superior a 800 milímetros y que posee un carácter estacional marcado.

d) Zona Patagónica oriental, de lluvias muy escasas, menores de 200 mm por año.

e) Zona Cordillerana Austral, que corre desde el Neuquén hasta Santa Cruz, cuyas lluvias son superiores a 400 milímetros y que tiene un núcleo de 1000 mm anuales cerca de los 41° de latitud sur.

f) Zona fueguina, en la Tierra del Fuego, en la que la lluvia crece rápidamente al desplazarnos desde el Estrecho de Magallanes hasta el Canal de Beagle, pasando desde 300 mm en el primero hasta 950 en el segundo.

La previsión de las lluvias, sobre todo en la región Mesopotámica y Mediterránea, tiene gran interés para nuestro país, especialmente si la ocurrencia de períodos secos y lluviosos pudiera ser pronosticada con algunos años de anticipación. Nosotros hemos realizado algunas investigaciones cuyos resultados se darán más adelante.

NIEBLAS. — El punto siguiente que tocaremos es el de las nieblas. La niebla se produce cuando el vapor de agua contenido en el aire próximo al suelo se condensa, quedando en suspensión en forma de nube. El origen de la niebla puede ser diverso, pero siempre requiere una atmósfera estable. En lo que se refiere a nuestro país hay dos tipos que nos interesan más por ser los más frecuentes. Estos son las nieblas radiativas (« mañaneras ») y las marinas.

Las nieblas mañaneras ocurren por enfriamiento del aire próximo al suelo durante la noche. Requieren que el punto de rocío (temperatura de saturación del vapor de agua) sea alcanzado durante el descenso nocturno de temperatura y que la velocidad del viento sea suficientemente pequeña como para evitar que la turbulencia del aire eleve la nube formada en contacto con el suelo. Las nieblas de este tipo generalmente se forman entre la medianoche y la madrugada, disipándose durante el transcurso de la mañana.

Las nieblas marinas (o de tipo de advección) tienen lugar en las zonas de mar donde se registran contrastes en la temperatura del agua. En este caso el aire proviene de la región de aguas cálidas y es arrastrado hacia la zona dominada por las aguas frías. En estas condiciones el aire es sometido a enfriamiento y, si su grado de humedad es suficiente, se forma la niebla. Como en el caso anterior, es necesario que la velocidad del viento no sea excesiva (en general no mayor de 4 ó 5 metros por segundo). Este tipo de niebla ocurre en la zona oceánica inmediata a la costa este de la provincia de Buenos Aires, a lo largo de la cual circula la corriente fría de las Malvinas. Hacia el noreste y oriente de esta corriente fría se encuentra la corriente cálida del Brasil. El contraste de temperaturas es algo mayor en invierno que en verano, lo que hace más frecuente este tipo de nieblas en la primera estación que en las segunda. Cuando soplan vientos flojos del noreste, con atmósfera estable, las condiciones son apropiadas para dar lugar a nieblas marinas en la región oceánica citada y, como se dijo, aparecen si el grado de humedad del aire es adecuado.

El que habla ha diseñado un ábaco, actualmente en uso en la Armada Nacional, que permite determinar la probabilidad de ocurrencia de nieblas mañaneras en las costas del río de la Plata y costas atlánticas hasta Necochea. Para ello se utilizan la fuerza del viento y la diferencia entre la temperatura máxima del día y el punto de rocío determinado al anochecer. El ábaco da la probabilidad de nieblas para la madrugada y mañana siguientes.

PREVISION DEL TIEMPO A CORTO PLAZO

La previsión a corto plazo se basa en la consideración sinóptica de una carta que abarque una extensión geográfica suficientemente grande, en la cual se han graficado las condiciones del tiempo reinante en un gran número de estaciones meteorológicas, y en la aplicación de leyes físicas para prever la evolución de los fenómenos que se advierten en la región abarcada por la carta. El pronóstico deducido se refiere en general a un intervalo que no se extiende más de 24 ó 36 horas en el futuro.

Antes de considerar los detalles de la previsión a corto plazo, conviene ver algunas cosas y factores que constituyen el basamento de este edificio.



Fig. 2.

El primer punto es la circulación media del aire en superficie (fig. 2). A lo largo del Ecuador y en ambas zonas tropicales tenemos los vientos alisios que soplan del noreste en el hemisferio norte y del sudeste en el hemisferio sur. En las zonas templadas tenemos los vientos del oeste (de los cuales nuestra Patagonia es un cumplido ejemplo), y finalmente, en las regiones polares, vientos del sector este (del noreste en el H. Norte y del sudeste en el H. Sur).

Desde el punto de vista isobárico, esta circulación corresponde a la siguiente distribución de las presiones: una faja de relativamente baja presión a lo largo de la zona tropical; una serie de anticiclones cuasi-permanentes (áreas de alta presión) en las latitudes subtropicales; un anillo de baja presión en las latitudes subpolares de ambos hemisferios y zonas de alta presión en los casquetes polares.

La distribución de los vientos origina zonas de encuentro de aire de diferente origen en las siguientes regiones: una en la zona ecuatorial, otra en la zona subpolar y una entre cada dos anticiclones (células) de la región subtropical.

Ahora bien, la permanencia prolongada de una masa de aire en una región suficientemente extensa, de características climatéricas homogéneas, hace que dicho aire adquiera propiedades físicas definidas, temperatura, humedad y gradiente térmico vertical. Así hablamos de masas aéreas antárticas (formadas en el casquete austral helado), masas aéreas polares (formadas en la región marítima vecina), masas tropicales marítimas y continentales (según el tipo de superficie de que se trate), etc.

Frentes. — Las masas de aire de distinto origen no se mezclan cuando entran en contacto, sino que se disponen según una superficie de separación bastante bien definida. Estas superficies reciben el nombre de frentes. La acción dinámica entre esas masas puede ser de dos clases y a los efectos de distinguir el tipo de interacción entre ellas, se aplica el nombre de frente frío cuando el aire frío trata de empujar al caliente y lo obliga a elevarse, al introducirse por debajo de este último por efecto de su mayor densidad.

La locución frente caliente se adjudica a la circunstancia inversa, aire caliente que empuja al aire frío. En ese caso el aire caliente no se introduce por debajo del frío sino que lo sobremonta, según una superficie cuya pendiente es menor en el frente caliente que en el frente frío.

En los ciclones extratropicales, que en primera aproximación podríamos asimilar a un movimiento vorticoso del aire alrededor de un centro de baja presión, encontramos presentes ambos tipos de frentes. En el hemisferio sur, que es el que nos interesa particularmente a nosotros, el aire cálido ocupa el sector noreste y da lugar a un frente caliente a la derecha del centro ciclónico y a un frente frío en la parte superior izquierda. El tipo de tiempo asociado a estos frentes depende de las características de las masas de aire

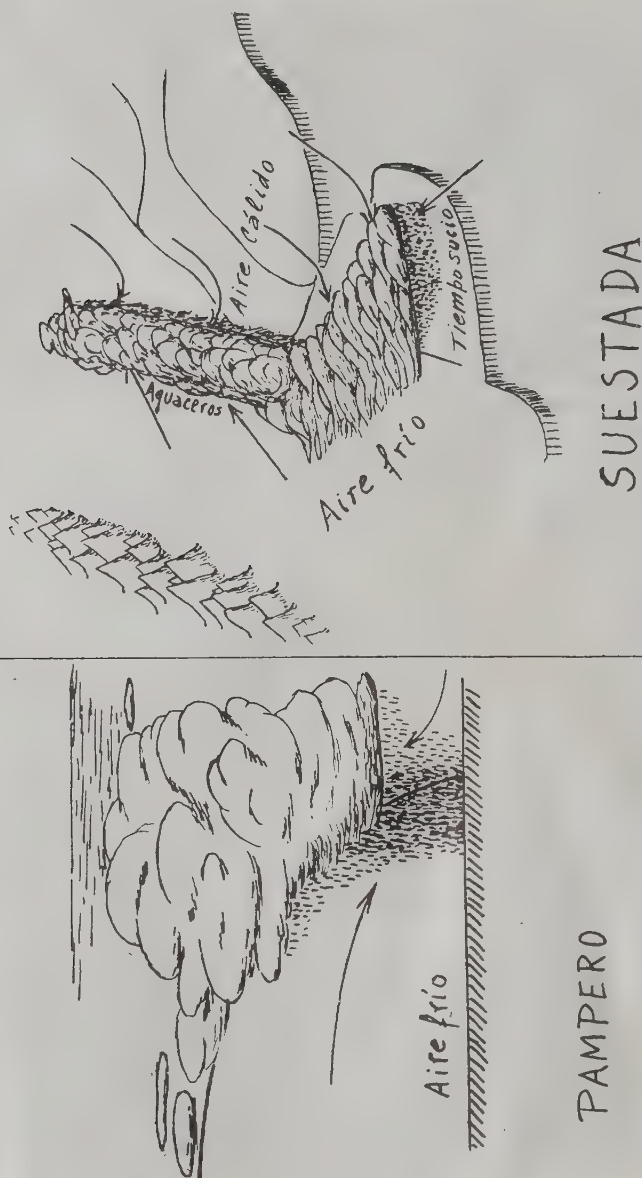

Aire cálido
Aguaceros
Tiempo sucio
Aire frío
SUESTADA
Aire frío
PAMPERO

Fig. 3.

en acción, pero en términos generales podemos decir que a retaguardia del frente frío la zona lluviosa (lluvias fuertes y a veces granizadas) posee un ancho de 50 a 80 kilómetros, mientras que al sur del frente caliente, donde las gotas tienen por lo común tamaños medianos y pequeños, la extensión del área lluviosa suele ser de 400 kilómetros de ancho.

Suestada y pampero. — Las suestadas (fig. 3), en la provincia de Buenos Aires, ocurren cuando un ciclón frontal se encuentra sobre Entre Ríos o el Uruguay. El frente caliente se extiende del oeste a este en la latitud del río de la Plata o sobre la parte sur de Uruguay. Las costas de la provincia de Buenos Aires, son entonces teatro de lluvias pertinaces, acompañadas de mala visibilidad y de vientos fuertes del este y sudeste. La duración de la suestada puede variar entre 1 y 3 días.

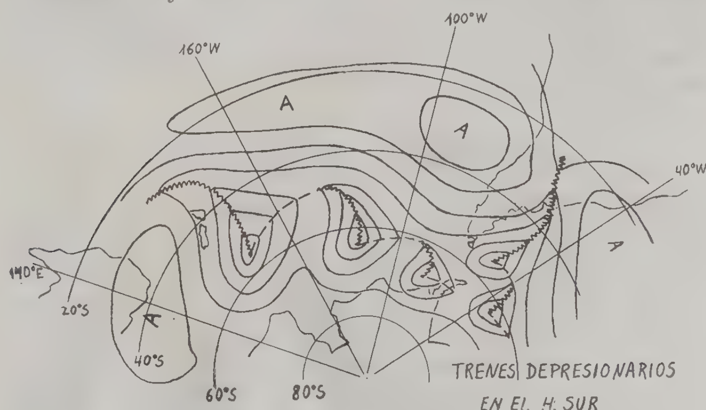


Fig. 4.

Los ciclones polares, normalmente dispuestos en trenes formados por 2 ó 3 individuos (fig. 4), que pasan generalmente al sur de Santa Cruz y sobre el Estrecho de Drake, producen el tránsito de su frente frío sobre la Patagonia. Cuando este frente frío, que se desplaza hacia el este y noreste, se extiende a todo el país, da lugar al pampero.

La aproximación del pampero (fig. 3) se manifiesta con vientos del norte y noroeste, un descenso continuado del barómetro y temperaturas elevadas. La lluvia, el cambio del viento al sur y sur-

oeste, y el comienzo de la subida del barómetro, son simultáneos con la caída de la temperatura.

La lluvia es generalmente violenta y de corta duración (2 ó 3 horas), despejando a continuación el tiempo con muy buena visibilidad. En las zonas costeras suelen registrarse chubascos que continúan hasta unas 24 horas después del paso del frente frío. Estos chubascos, como ya vimos, se deben a inestabilidad del aire polar, que sopla del sur, al ir llegando a zonas de aguas más cálidas que las de origen y estar sometido, por tanto, a un calentamiento desde abajo.

El proceso, entonces, de previsión en la carta sinóptica, consiste en el trazado de los frentes, de las isobaras, en la identificación de ciclones y anticiclones, consideración de las características particulares de las masas aéreas y de su estabilidad, la aplicación de leyes físicas a los fenómenos en curso, la determinación de las horas de llegada a los diferentes lugares, y las transformaciones que tendrán lugar en las perturbaciones, así como la previsión de la formación de otras nuevas.

PREVISION DEL TIEMPO A LARGO PLAZO

Durante los últimos años, y en especial por la presión de las necesidades de la guerra, en donde la meteorología resultó un factor estratégico de primera importancia, se han realizado notables progresos en el sentido de la previsión de las perspectivas a largo plazo, así como en la previsión a corto plazo.

Todos los países en lucha realizaron estudios intensivos; en Rusia fué materia de especial consideración el método Multanowsky (de carácter sinóptico), ideado antes del conflicto; en Alemania se hicieron investigaciones, entre ellas las de Baur, de índole estadística, algunas de las cuales aún no han sido dadas a publicidad por los aliados y en los Estados Unidos se investigó sobre índices circulatorios zonales y sobre medias móviles de 5 días y mensuales, así como la utilización de cartas meteorológicas en altura.

Aun cuando las tentativas de pronosticar a largo plazo no son nuevas (las investigaciones comenzaron a fines del siglo pasado), solamente en los últimos seis años fueron sometidas a un estudio en gran escala, debido principalmente a la razón estratégica de que ya se habló.

Haremos una breve reseña de las tentativas efectuadas antes de hablar de la adaptación de los métodos norteamericanos modernos al hemisferio sur.

METODOS ANTIGUOS. — Los métodos más antiguos intentados obedecen en su mayor parte a tres grandes grupos, los que se basan en el empleo de las variables solares (número de manchas y variaciones de la radiación solar (Clayton, Abbot, etc.), los métodos cíclicos (existencia de ciclos de diverso período en la evolución de las variables meteorológicas (Schuster, etc.) y los métodos de correlación en los que se procura establecer secuencias definidas entre fenómenos observados en diferentes partes del planeta (Walker y otros).

El éxito de tales sistemas ha sido parcial. La razón de ello debe atribuirse a que siendo su base de carácter estadístico, cuando los utilizamos para pronosticar nos dan una probabilidad de ocurrencia de un determinado tipo de tiempo, pero no nos aseguran que el próximo fenómeno que se observe coincida con lo que de acuerdo a lo estadístico debe esperarse.

La causa de ello estriba en que los fenómenos meteorológicos son extremadamente complicados y existen una serie de interacciones muy grandes. Es evidente que si actuamos en una zona durante un tiempo largo y guiamos nuestras actividades regulándolas de acuerdo a las probabilidades que tales métodos nos dan, al final habremos acertado más veces de las que habremos errado, pero los requerimientos humanos son, especialmente en la época moderna, más exigentes, y, cuando ello se refiere a su empleo en operaciones bélicas, como las de la guerra última, la importancia de acertar cobra caracteres imperiosos. El caso de la invasión a Normandía es un ejemplo típico.

Sin embargo, y a título informativo, daremos algunos resultados de investigaciones de los tipos anteriores efectuados por nosotros y que se refieren a nuestro país.

En la figura 5 se muestran los efectos que, sobre la presión en Río Gallegos, siguen a los máximos de radiación solar (2 años de observaciones).

En ella vemos un máximo de anomalía positiva que ocurre simultáneamente con el máximo de radiación, luego un seno negativo (días 2 al 5), más tarde otro seno negativo (días 7 al 11) y después encontramos apartamientos positivos. La curva siguiente repre-

senta los efectos del máximo de radiación del sol sobre la marcha del barómetro en Orcadas. Aquí encontramos que la primera zona positiva llega hasta el día 3, luego hay un período negativo hasta el día 7, después uno casi normal (días 8 a 11) y a continuación un seno de defecto.

La curva inferior representa las diferencias entre las anomalías de Río Gallegos y Orcadas. Sabemos que la presión media en Gallegos es superior a la de Orcadas y también que los vientos predominantes en el Estrecho de Drake son del Oeste. Esta curva inferior nos da una idea de la evolución de la componente SW del

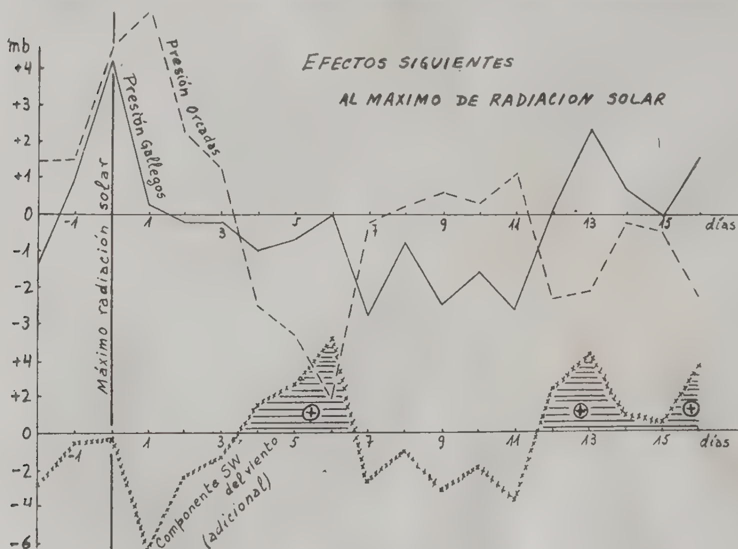


Fig. 5.

viento en esa parte del mar, que sigue a un máximo de radiación solar. Nos dice que hasta 3 días después del máximo de radiación, el flujo de aire en T. del Fuego y el E. de Drake es débil mientras que entre los días 4 y 6 hay afluencia de aire polar. Luego hay un intervalo en el cual son predominantes vientos más débiles (día 7 al 11) más tarde la circulación del SW se intensifica (días 12 en adelante).

Así obtenemos una visión dinámica de los efectos citados.

Sin embargo esto no puede ser empleado para pronosticar, pues las variaciones estadísticas obtenidas no son suficientemente impor-

tantes con respecto a la diferencia media de presión entre los puntos nombrados ni con respecto a las oscilaciones diarias que se registran en ellas.

Pasando a los métodos cíclicos, mostraremos un análisis que hemos practicado de las lluvias en el centro y norte del país y en la provincia de Buenos Aires (publicado en el número de Marzo de 1943 de los *Anales de la S. C. A.*).

De él surge que es posible obtener ondas que reproducen con bastante aproximación la curva de las medias móviles de 3 años de las precipitaciones observadas y que esas fórmulas son útiles para pronosticarlas. El intento de ello era la previsión de períodos secos y lluviosos. La figura 6 muestra un ejemplo de pronóstico de las medias de tres años consecutivos y lo observado posteriormente

Las previsiones fueron acertadas. Sin embargo, el hecho de que. se refieran a medias de 3 años reduce su valor práctico para el chacarero, por ejemplo, quien está especialmente interesado en saber si lloverá mucho o poco durante los meses en que crece su cosecha. Puede ocurrir que un máximo de lluvia se deba a precipitaciones en invierno, mientras que las lluvias de primavera sean relativamente pobres. De todas maneras el éxito aquí parece ser más importante que en el caso de los vientos del sudoeste, en la costa sur y, afortunadamente para la previsión de las lluvias, en la zona que se extiende al norte de la latitud de Mar del Plata, la mayor proporción de lluvias se registran en primavera, verano y primeros meses del otoño y, en general, los años lluviosos se caracterizan por precipitación abundante en esas estaciones.

Con respecto a los métodos de correlación como medio de pronosticar, citaremos un estudio realizado por el señor R. H. Weightman, del Weather Bureau de los Estados Unidos, análisis que cubrió todo el planeta buscanto puntos « neurálgicos » que permitieran prever las lluvias y temperaturas estacionales en las varias regiones de su país. Aun cuando los resultados no fueron negativos, los grados de correlación determinados no son suficientemente grandes para satisfacer las exigencias y podríamos decir que ellos sólo permitirían determinar probabilidades cualitativas.

MÉTODOS MODERNOS. — En los últimos años, en los Estados Unidos especialmente, se han efectuado investigaciones tendientes a obtener previsiones a largo plazo, de 5 días y mensuales. Estos métodos han tenido éxito y fueron utilizados en el planeo y eje-

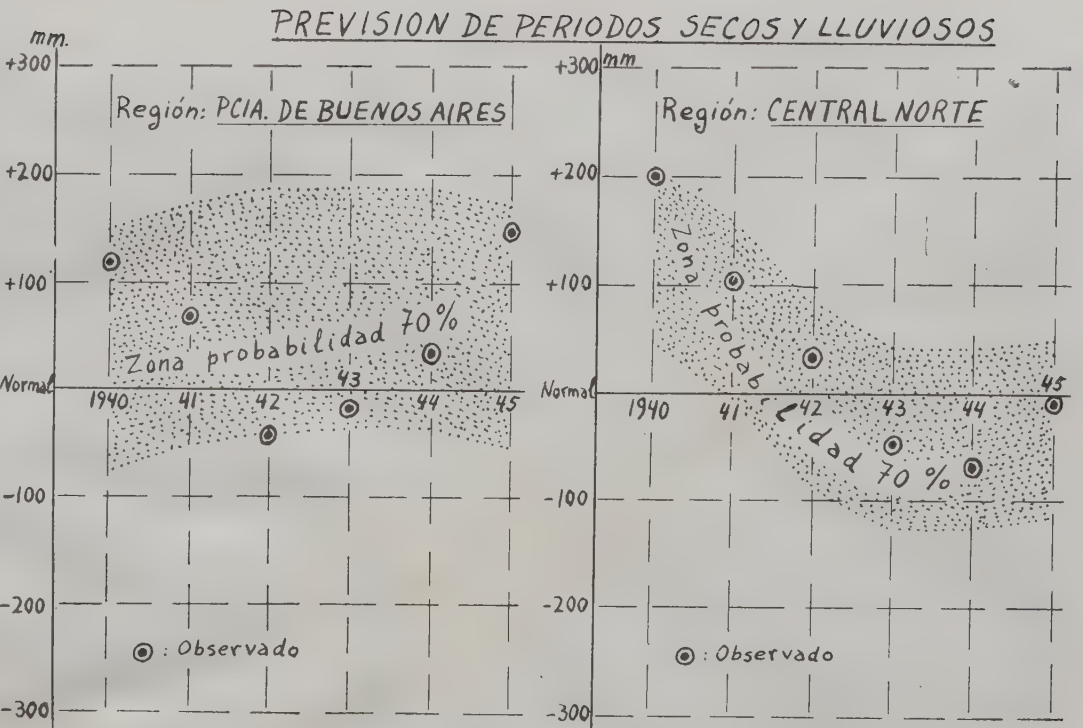

PREVISION DE PERIODOS SECOS Y LLUVIOSOS
Región: PCIA. DE BUENOS AIRES
Región: CENTRAL NORTE
mm.
+300
+200
+100
Normal
-100
-200
-300
1940
41
42
43
44
45
Zona probabilidad 70 %
Zona probabilidad 70 %
⊙ : Observado
⊙ : Observado

Fig. 6.

cución de operaciones bélicas. Se basan en el análisis de las cartas del tiempo confeccionadas para diferentes niveles, en los índices zonales de circulación del aire (se emplean los de las tres zonas de hemisferio norte, tropical, templada y circumpolar) y en ciertas reglas de bloqueo.

La breve descripción que daremos a continuación incluye no solo la aplicación del método de 5 días al hemisferio sur realizado por nosotros, sino algunas otras investigaciones que contribuyen al mismo propósito. Comenzaremos por estas últimas.

Tomando los valores diarios de la presión, durante los años 1936 y 1939, se determinaron las diferencias barométricas entre Mar del Plata y Río Gallegos a fin de calcular el valor de la componente oeste de los vientos en nuestra región patagónica (en base a la relación entre la fuerza del viento y el gradiente latitudinal).

Se calcularon las medias móviles de 5 días consecutivos a fin de determinar los períodos prolongados de fuerte y débil componente oeste del viento.

Luego se estudió la evolución anterior de la presión en una serie de estaciones, comprendidas entre los 15° S y los 80° S y que cubren el Atlántico oeste, América del Sur, todo el océano Pacífico y la región oriental de Australia así como el borde del continente Antártico. Este estudio se hizo para dos circunstancias extremas distintas:

a) Para grandes gradientes patagónicos (temporales del oeste).
b) Para mínimos de gradiente en esa región.

El estudio se completó con el trazado de cartas en las cuales figuraban las líneas de igual anomalía de la presión (apartamiento con respecto a la media) y con el trazado de las líneas de circulación del aire. En base a ello (fig. 7) pudo determinarse que los máximosl de gradiente patagónico comienzan a gestarse unos 5 días antes, con la formación de un área de anomalías negativas en vecindades de la I. de Chatham próxima a Nueva Zelandia.

Mientras esta área negativa, que ocasiona temporales del oeste, se desplaza para dar lugar el día 0 al máximo de gradiente en la Patagonia, en el continente Antártico se genera un área positiva que luego parece dividirse en dos y cuya mitad occidental emerge desde el sur de Australia para desplazarse después a lo largo del paralelo 60° S y llegar 6 días más tarde al extremo austral de Sud

América provocando, durante su avance previo, vientos del sudoeste sobre la zona templada argentina.

El caso de los mínimos de componente oeste en la Patagonia (mínimo de gradiente) presenta una evolución tal que da, 5 días antes, un área negativa al SW de Tierra del Fuego, mientras una extensa área positiva cubre el Pacífico occidental. El día 0 encontramos una poderosa área de exceso de presión centrada sobre Tierra del Fuego, área que se intensificó durante su cruce del Pacífico en latitudes del orden de los 60° S. Como consecuencia de ello, los vientos soplan del SSE en la costa argentina. Cinco días

FIG. 7.

después una segunda zona de defecto se encuentra en el Pacífico central, próximo al círculo polar, avanzando con rumbo al este. Es decir el mínimo de gradiente queda comprendido entre dos máximos.

Las cartas confeccionadas en ambos estudios anteriores pueden ser empleadas para pronosticar si se las compara con las cartas de medias móviles de 5 días. El intervalo de tiempo para el cual estos pronósticos pueden realizarse es, en ocasiones, de hasta 8 días de anticipación.

Pasando ahora a la aplicación a nuestro hemisferio del método desarrollado en los Estados Unidos, cabe decir que esta aplicación no puede hacerse en forma completa porqué, además de carecer

de otros datos de que se dispone en el hemisferio norte, aquí no podremos utilizar la carta de 3000 metros de altura que es la columna vertebral en la cual se basa el sistema norteamericano. Nosotros emplearemos la carta de superficie y creo que, en razón de las restricciones que nos afectan, deberíamos hablar, más que de aplicación, de una adaptación del proceso mencionado.

Si se analizan las variaciones de la presión a lo largo de los paralelos, tanto en el hemisferio norte como en el sur, es posible ver ondas que marchan desde el Ecuador a los polos y de los polos al Ecuador. Estas ondas disminuyen de amplitud (o aumentan) según progresen hacia el trópico o hacia la zona polar. Si conocemos su velocidad de traslado será posible prever las variaciones que se experimentarán en cada paralelo y por lo tanto tendremos un medio de predecir la presión futura a lo largo de esos paralelos.

Como la diferencia de presión entre los paralelos es un equivalente del índice circulatorio del aire, tendremos un medio para predecir esos índices en el hemisferio de que se trate.

Nosotros hemos utilizado el índice de la zona templada sur (es decir la diferencia de presión entre los 40° S y los 60° S). Además hemos analizado la trayectoria media de las áreas de exceso y de defecto, la velocidad de los senos ciclónicos en función del índice circulatorio y de la distancia al seno ciclónico contiguo hacia el oeste. También se trataron de determinar reglas que permitan prever las variaciones de la circulación atmosférica en las diversas regiones y se buscó algún punto en el cual las variaciones de circulación precedieran con suficiente anticipación a las variaciones que se experimentan en nuestro país. Este último punto fué hallado en los 180° de longitud (aproximadamente la longitud de Nueva Zelandia) y cuyo intervalo de fase es de 4 días.

El sistema requiere también el empleo de un proceso de ajuste basado en el valor previsto del índice circulatorio y, en definitiva, proporciona una guía para poder extrapolar las cartas diarias del tiempo, prever la aparición de masas de aire y formación de ciclones y anticiclones.

En rigor de verdad el método es demasiado complicado como para ser analizado en detalle en una conferencia de corta duración, pero sus principios generales son los que se han enunciado.

Con esto terminamos esta reseña de meteorología argentina. Es indudable que han quedado muchas lagunas en la exposición, pero era forzoso hacerlo, pues de otra manera la duración de la confe-

rencia se hubiera prolongado más allá de lo discreto. A grandes rasgos las características meteorológicas de nuestro país han sido delineadas y dentro de su dilatada extensión en latitud, desde los 22° S hasta los 90° S, en el extremo sector antártico de la República, caben todos los climas y todos los productos de la tierra y del mar. Sólo me resta agradecer vuestra atención.

Junio 23 de 1948.